ESSAI
SUR
LA THÉORIE
DES TORRENS ET DES RIVIÈRES,

CONTENANT

Les moyens les plus ſimples d'en empêcher les ravages, d'en rétrécir le lit & d'en faciliter la Navigation, le Hallage & la Flottaiſon.

Accompagné d'une diſcuſſion ſur la Navigation intérieure de la France ;

Et terminé par le projet de rendre Paris, Port maritime, en faiſant remonter à la voile, par la Seine, les Navires qui s'arrêtent à Rouen.

53241

Ouvrage mis à la portée de tout le monde.

A l'uſage des Ingénieurs & des Élèves des Ponts & Chauſſées.

PAR LE CITOYEN FABRE,

Ingénieur en chef des Ponts & Chauſſées, au Département du Var.

A PARIS,

Chez BIDAULT, Libraire, rue Haute-feuille, n°. 10, au coin de la rue Serpente.

AN V. — 1797.

00053241

00053241

Digitized with financial assistance from

Government of Maharashtra

on 30 January, 2020

DISCOURS PRÉLIMINAIRE.

PARMI les objets confiés aux ſoins des ingénieurs des Ponts & Chauſſées, il n'y en a peut-être aucun qui mérite autant de fixer l'attention du Gouvernement que la partie des torrens & des rivières, ſoit qu'on les conſidère relativement à leurs ravages dans le tems des crues, aux moyens d'y remédier & à l'étendue immenſe de terreins infiniment précieux qu'on peut conquérir aux dépens de leur lit, ſoit qu'on les enviſage relativement aux avantages qu'on en peut retirer en y facilitant, ou en augmentant la navigation, le hallage & la flottaiſon. Comme le ſujet eſt des plus importans, pour éclairer nos lecteurs, avant d'expoſer le plan de notre ouvrage, nous allons entrer dans quelques détails préliminaires, d'après leſquels on ſe convaincra de la vérité de notre aſſertion. Commençons d'abord par fixer les idées ſur la nature des torrens & des rivières.

Les eaux pluviales, en tombant ſur le penchant des maſſes primitives des montagnes, y ont creuſé, en s'écoulant, des vallées plus ou moins profondes, ſuivant l'époque plus ou moins reculée où elles ont commencé d'agir, & ſuivant le degré de tenacité des matières qui compoſent l'intérieur de ces maſſes. Ces vallées étant aujourd'hui les endroits les plus bas des montagnes, reçoivent pendant les pluies toutes les eaux

qui s'écoulent ſuperficiellement & les conduiſent aux rivières les plus voiſines. Par où l'on voit, qu'à l'exception de quelques eaux de ſources dont les conduites ſouterraines ſont coupées & interceptées par ces mêmes vallées, les torrens ne ſont guères alimentés que par les eaux pluviales ſuperficielles des montagnes, & que hors le tems des pluies, ils ſont preſque à ſec.

Les rivières au contraire, dans leur état habituel & ordinaire, ne ſe forment que des eaux de ſources qui ſe rendent dans leur lit par la voie des torrens. D'où il ſuit, que dans tous les tems, les rivières ont un certain volume d'eau plus ou moins conſidérable, ſelon qu'on s'éloigne plus ou moins de leur origine. C'eſt la première différence qu'il y a entre le torrent & la rivière.

Le lit du torrent ſur le penchant de la montagne où il prend ſon origine, forme une courbe convexe; & parvenu au piéd, il change de direction & s'établit ſur un plan plus ou moins incliné; tandis que le lit de la rivière forme, dans toute l'étendue de ſon cours, une courbe aſſymptotique ſans interruption, dont les élémens s'approchent d'autant plus de la ligne de niveau, qu'ils s'éloignent davantage de la ſource. C'eſt-là une ſeconde différence entre le torrent & la rivière.

Le lit du torrent arrivé au pied de la montagne où il prend ſon origine, éprouve diverſes alternatives dans ſa hauteur. Il s'exhauſſe ſi la crue eſt courte, &

il s'abaisse si la crue est longue. Dans la rivière au contraire, le lit est toujours sensiblement à la même hauteur, quelle que soit la longueur de la crue. Il ne s'exhausse qu'en s'élargissant, & ne s'abaisse qu'en se rétrécissant. Troisième différence entre le torrent & la rivière.

Le lit du torrent au bas de la montagne sur laquelle il se forme, a toujours beaucoup plus de pente que celui de la rivière qui le reçoit : ce qui constitue une quatrième différence entre le torrent & la rivière.

Le gravier du torrent n'est composé que de pierres brutes & anguleuses, telles qu'elles descendent de la montagne. Celui de la rivière au contraire, ne contient que des galets polis par le frottement & arrondis par la rotation : cinquième différence entre le torrent & la rivière.

Le torrent enfin dans la plaine, sort quelquefois de son lit pour se jetter sur les domaines adjacens qui sont ordinairement plus bas. Mais la rivière corrode les bords & ne les franchit que pour inonder momentanément les propriétés riveraines. C'est la sixième différence entre le torrent & la rivière.

Bien des gens sont dans l'usage de confondre avec le torrent une rivière, lorsqu'elle a beaucoup de pente & de rapidité. On voit, par ce que nous venons d'exposer, que c'est à tort, & qu'il y a des caractères de différence très-bien prononcés entre l'un & l'autre de ces deux courans.

Mais divers torrens réunis ne forment pas tout de ſuite une rivière. Il y a un état intermédiaire où le courant n'eſt plus torrent & n'eſt pas encore rivière. Dans cet état, qui pour l'ordinaire eſt de quelques lieues d'étendue, le courant participe tout à-la-fois de la nature du torrent & de celle de la rivière, & il tient plus ou moins de l'une ou de l'autre ſelon qu'il s'approche davantage du torrent ou de la rivière. C'eſt pour cette raiſon qu'on doit l'appeller *torrent-rivière*.

Ainſi, on voit que dans la nature on doit diſtinguer trois ſortes de courants réellement diſtincts les uns des autres; ſavoir : le torrent proprement dit, la rivière, & le torrent-rivière.

Les ravages des torrens ſont d'autant plus déſaſtreux, qu'une fois opérés, on ne peut plus y remédier. En effet ; lorſque ces ravages s'exercent ſur le penchant d'une montagne, il en réſulte que la couche de terre végétale eſt entraînée, & qu'il n'y reſte plus que le rocher nud & aride. Lorſqu'ils ont lieu dans la plaine ſituée au pied de la montagne, ils s'opèrent à la vérité d'une autre manière, mais qui n'eſt pas moins déſaſtreuſe : car alors, ſi le torrent n'eſt pas contenu, il ſe porte ſur les domaines voiſins, & les couvre de gravier dont l'enlèvement coûteroit ſouvent beaucoup plus que la valeur de la propriété dévaſtée. C'eſt ainſi que dans les pays de montagnes, on voit journellement diſparoître ſous des maſſes énormes de gravier, les domaines les plus précieux.

Les torrens-rivières ayant ordinairement, ainsi que les torrens, un lit supérieur aux domaines adjacens, en sortent aussi fort souvent pour se porter sur ces domaines qu'ils couvrent pareillement de gravier ; & si l'on observe que dans les pays de montagnes les propriétés les plus précieuses sont toujours le long de ces courants, on sentira combien il est malheureux pour ces contrées d'être exposées à de pareils fléaux.

Les rivières prises dans les parties de leur cours où elles charient du gravier, ne sont pas moins désastreuses. La destruction de nos forêts & les défrichemens fort mal-à-propos opérés sur nos montagnes, en permettant aux eaux pluviales de s'écouler dans un intervalle de tems beaucoup plus court qu'autrefois, ont augmenté à proportion le volume d'eau des rivières pendant les crues. Depuis ce tems, les fertiles domaines situés sur leurs bords ont été corrodés & emportés en grande partie.

Le lit s'élargissant par l'effet de ces corrosions s'est en même tems exhaussé ; tandis que les bords étant devenus par-là même inférieurs, ont attiré le courant & ont provoqué les progrès du mal.

Tel est l'état de toutes les rivières à fond de gravier. La dévastation se manifeste par-tout sur les domaines riverains. On peut s'en convaincre particulièrement dans les contrées montueuses où ces rivières se trouvent toujours, & en particulier sur la Durance, dans les

départemens des Baſſes-Alpes & des Bouches-du-Rhône, où il n'eſt pas rare de rencontrer des endroits de plus de 1000 toiſes de largeur occupés par cette rivière, tandis que moins de 150 toiſes ſuffiroient au paſſage de ſes eaux dans le tems des plus grandes crues.

Ce n'eſt pas aux pays de montagnes que ſe bornent les ravages des rivières. Arrivées dans les pays de plaines, elles rallentiſſent à la vérité leur cours, & ceſſent de charier du gravier; mais par-là même, leurs eaux s'enflant davantage, menacent à chaque crue d'inonder les plaines adjacentes. Souvent même les turcies deviennent inſuffiſantes pour les contenir dans leur lit.

Ce n'eſt pas tout; ſi ces rivières s'évacuent dans la Méditerranée, elles y produiſent des bancs & des iſles qui détruiſent le ſeul avantage qu'on en pourroit retirer; ſavoir, la navigation: le Rhône nous en fournit un exemple. Cet inconvénient eſt moins ſenſible aux embouchures dans l'océan, à cauſe que dans la haute marée ces bancs ſont toujours ſurmontés d'une certaine profondeur d'eau.

On ſent d'après cela, combien il eſt intéreſſant pour l'état de trouver des moyens ſimples & peu coûteux d'arrêter ces ravages lorſqu'il y a poſſibilité. On préſerveroit de la fureur des torrens & des rivières, des domaines précieux qui ſont la ſeule reſſource des pays de montagnes. En réduiſant les rivières à une largeur

convenable, on gagneroit beaucoup de terreins à l'agriculture. Ces terreins formés des dépôts de limon dans le tems des crues feroient, par-là même, d'une nature fupérieure ; & ce qui les rendroit encore plus précieux, c'eft que par leur pofition, ils feroient très-fufceptibles d'irrigation. Or, fi l'on fe donnoit la peine de faire le relevé de tous les terreins qu'on pourroit ainfi gagner fur les rivières de la France, on verroit qu'ils formeroient une étendue immenfe.

D'un autre côté, on comprend affez que l'on ne peut conquérir ces terreins fur les rivières, fans en rétrécir le cours, & que par-là même, leurs eaux acquérant plus de profondeur, la navigation, le hallage & la flottaifon ne pourroient qu'y gagner. Or, ces objets font une partie effentielle de la navigation intérieure, projet depuis long-tems propofé, & dont l'exécution rendroit la France l'état le plus floriffant de l'univers.

Si l'on en excepte les torrens tels que nous les avons décrits, & fur lefquels on n'a jamais rien dit, il n'y a peut-être aucune partie de l'hydraulique fur laquelle on ait autant écrit que fur les rivières, & fans contredit il n'y en a aucune au fujet de laquelle nous ayons acquis moins de connoiffances. Pour s'en convaincre, on n'a qu'a faire attention qu'en mettant à contribution tout ce qui a été publié à cet égard, on n'a pas encore pu en déduire un mode fimple & général de

réduire le lit des rivières, & de faciliter la navigation, de quelque nature qu'elle ſoit d'ailleurs. Il y a même des auteurs, tels que Bélidor, qui ont prétendu que les rivières qui charient du gravier, doivent être regardées comme *preſque indomptables.*

Deux cauſes ont contribué au défaut de progrès dans cette partie.

La première cauſe eſt que divers auteurs ont voulu y appliquer le calcul algébrique, & exprimer par des équations générales, les loix que les eaux ſuivent dans leur cours. Qu'une pareille application ait lieu dans un courant contenu dans un ouvrage fait de main d'homme, où l'art l'a ſoumis à un cours régulier, & où, comme par exemple dans un canal, il y a une loi de continuité & d'uniformité, ſoit dans les mouvemens, ſoit dans les variations, on ſent que dans ce cas la choſe ne peut être qu'utile, & qu'il eſt infiniment avantageux de pouvoir lire dans une équation, modifiée ſi l'on veut par les réſultats de l'expérience, la théorie d'un pareil courant. Mais qu'on faſſe une pareille application ſur les rivières dont les variations ſont multipliées à l'infini, & s'opèrent à chaque pas d'une manière différente ſuivant le volume des eaux, la nature & la poſition des obſtacles, &c.; il eſt viſible que c'eſt alors abuſer du calcul, & que la théorie qu'on aura par cette voie ne ſera qu'une théorie purement hypothétique qui ſe rapportera aux rivières telles qu'on

les aura imaginées, mais qui ſera tout-à-fait étrangère aux rivières exiſtantes dans la nature.

Cependant on ſent qu'en cherchant à établir la théorie des rivières, on doit les figurer telles qu'elles ſont dans la nature, avec toutes les modifications qui les affectent, & non telles qu'elles ſeroient d'après la ſimple théorie ou d'après des hypothèſes quelconques dénuées de fondement. Si à l'imitation de Pitot, dans les mémoires de l'Académie des Sciences, on ſuppoſe, par exemple, qu'une rivière ſe meuve ſur un plan uniformément incliné, & que de-là on infère que cette rivière éprouvant de la part de la mer une réſiſtance qui détruit la moitié de ſa vîteſſe, doit ſe mouvoir d'un mouvement uniforme ſur les trois derniers quarts de la longueur de ſon cours; ce réſultat eſt parfaitement analogue à la manière dont cet auteur enviſageoit les rivières; mais il eſt complettement démenti par l'expérience, qui ne prouve rien de pareil, ni rien d'approchant. Telle eſt cependant la marche qu'ont ſuivie beaucoup d'auteurs; l'on comprend ſans peine qu'une pareille méthode n'étoit pas faite pour nous éclairer ſur la théorie des rivières.

La deuxième cauſe eſt, que la plupart des auteurs qui ont fait des obſervations ſur le cours des rivières, n'ont jamais eu un point de vue fixe & déterminé auquel ils puſſent conſtamment les rapporter. De-là cette multitude d'obſervations le plus ſouvent oiſeuſes

& de pure curioſité, & preſque toujours diſparates & incohérentes. Si au contraire ils s'étoient formé un plan préliminaire, par exemple, celui d'utiliſer les rivières en réduiſant leur lit de la manière la plus ſimple, & qu'ils ſe fuſſent bornés à étudier leur cours ſous ce rapport, ſans jamais dévier de la ligne qui conduiſoit à ce but, on auroit conſidérablement diminué le nombre d'obſervations; elles auroient été faites avec ſuite & intelligence, & l'enſemble n'eût pas manqué de fixer une théorie au moins approximative qui nous eût mis à portée de contenir nos rivières dans de juſtes bornes, de gagner beaucoup de terrein au profit de l'agriculture, & de faciliter conſidérablement la navigation.

Nous avions été chargés, il y a environ vingt ans, par l'adminiſtration du ci-devant pays de Provence, de viſiter les diverſes rivières de ſon reſſort, & de faire toutes les obſervations néceſſaires pour ſimplifier les travaux qu'on étoit habituellement obligé d'exécuter pour les contenir dans leur lit. Les courſes que nous fîmes à ce ſujet & les réflexions qu'elles nous ſuggérèrent, nous firent ſentir l'inſuffiſance de la théorie conſignée dans les ouvrages connus, & la néceſſité d'en créer une qui s'adaptât parfaitement aux beſoins de la ſociété. En conſéquence, nous fîmes un recueil d'obſervations relatives à la ſolution de ce problême: *trouver les moyens les plus ſimples & les moins diſpendieux d'empêcher les*

ravages des torrens & des rivières des pays de montagnes. C'eſt d'après ce recueil que nous composâmes un traité intitulé : *Eſſai ſur la théorie des torrens & des rivières des pays de montagnes.* Nous le préſentâmes le 2 décembre 1780 à l'Académie des Sciences, qui en porta un jugement favorable le 4 avril 1781.

Sur la fin de l'année 1780, ayant été nommé ingénieur des ci-devant États de Provence pour la partie hydraulique, cette place nous a mis à portée de faire une infinité de nouvelles obſervations & des expériences directes ſur les diverſes branches de l'hydraulique, & en particulier ſur les torrens & les rivières. Nous avons même pouſſé ces obſervations juſqu'à l'embouchure des rivières dans la mer : c'eſt pour cette raiſon que nous n'avons jamais publié l'ouvrage dont nous venons de parler : car nous le regardions comme incomplet & ſuſceptible d'un ſupplément eſſentiel.

Dans le mois de fructidor de l'an 4, l'aſſemblée des Ponts & Chauſſées ayant pris connoiſſance de cet ouvrage, jugea qu'il feroit utile aux ingénieurs & aux élèves, & opina pour qu'il fût imprimé aux frais du Gouvernement. En conſéquence, jaloux de répondre à la confiance de l'aſſemblée, nous crûmes devoir le refondre & en généraliſer la théorie d'après nos expériences & nos nouvelles obſervations. Le traité que nous publions aujourd'hui eſt le réſultat de ce travail.

L'objet que nous nous propoſons dans ce traité eſt

de donner une théorie, d'après laquelle on puiſſe, par des moyens ſimples & peu coûteux, arrêter les ravages des torrens, des rivières, & des torrens-rivières, depuis la formation des torrens ſur les montagnes juſqu'à l'embouchure des rivières dans la mer; réduire par les mêmes moyens leur lit à de juſtes bornes & y procurer ou y faciliter la navigation, le hallage & la flottaiſon lorſque la choſe eſt poſſible & utile. En conſéquence, nous avons écarté toute obſervation & tout principe qui s'éloignoit de l'utilité publique, & qui ne ſe rapportoit pas aux travaux du reſſort des Ponts & Chauſſées. Ainſi, on ne trouvera rien de ſuperflu dans cet ouvrage.

C'eſt dans la même vue, & d'après ce que nous avons dit précédemment, que nous en avons exclu les calculs ſcientifiques. On n'en trouvera qu'un dont l'expérience même indique l'inutilité. Par conſéquent, on peut regarder cet ouvrage comme à la portée de tout le monde.

Ceux qui ſont accoutumés à écrire d'après leurs propres idées & leurs obſervations, ſavent combien on eſt gêné, ſur-tout dans un ſujet tel que celui-ci, quand on compulſe les ouvrages dont les principes influencent ſouvent notre opinion ſans que nous nous en appercevions, & ne manquent jamais de mettre l'eſprit aux entraves. Ainſi, c'eſt pour n'être pas ſubjugué dans la nôtre par des autorités d'ailleurs très-reſpectables, &

pour pouvoir suivre en toute liberté le plan que nous nous étions formé, que nous n'avons uniquement puisé que dans nos idées & dans notre mémoire. Cette considération nous fera trouver grace aux yeux des lecteurs instruits, dans le cas où ils rencontreroient quelquefois des idées qui leur paroîtroient extraordinaires. D'ailleurs, nous n'écrivons que pour reculer les bornes des connoissances dans cette partie pour le plus grand bien de la chose publique. Or, comment pourroit-on y réussir si l'on se copioit mutuellement, & si l'on marchoit constamment sur les traces les uns des autres.

Ainsi, nous prévenons le public que ce n'est point par dédain ni par indifférence pour les auteurs qui ont couru la même carrière, que nous n'avons pas mis leurs ouvrages à contribution. Nous savons qu'on y trouve d'excellentes recherches qui peuvent d'ailleurs être très-utiles dans diverses circonstances; mais elles n'entroient pas dans notre plan.

Cet ouvrage est divisé en trois parties.

La première partie traite de la théorie des torrens, des rivières, & des torrens-rivières; elle se divise en cinq sections.

La première section ne contient que des notions préliminaires pour l'intelligence des sections suivantes & du reste de l'ouvrage. Nous y parlons d'abord de l'abaissement progressif du niveau des eaux de la mer, de l'origine des montagnes, & des fondrières qui en

ont dégradé les penchans & dont nous faiſons connoître la cauſe, la direction, les limites & l'égard qu'on doit y avoir dans les travaux publics. Nous expoſons enſuite très-ſuccinctement, & néanmoins d'une manière complette, les principes de l'aérométrie relatifs à l'évaporation des eaux & à la formation des nuages & des pluies, les obſervations météorologiques ſur la quantité de pluie & d'évaporation, & l'origine des ſources & des rivières. Enfin, après un certain détail ſur le volume d'eau des rivières & ſes variations par les pluies & par la ſécherеſſe, nous établiſſons la différence qui règne entre les torrens, les rivières & les torrens-rivières, & nous démontrons que, dans l'impoſſibilité d'atteindre à une théorie rigoureuſe, on doit ſe borner à une théorie approximative.

La deuxième ſection traite de la théorie des torrens. Nous y examinons d'abord les torrens ſur les montagnes où ils prennent leur origine, la manière dont ils ſe forment, la convexité de la ligne de fond de leur lit & les ſciſſions qu'ils opèrent ſur les chaînes de montagnes; d'où nous tirons quelques conjectures ſur la formation des détroits & ſur l'anéantiſſement futur des lacs traverſés par des rivières. Nous ſuivons enſuite ces mêmes torrens depuis le pied des montagnes juſqu'aux rivières ou torrens-rivières où ils ſe rendent, & nous trouvons que dans cette partie leur direction change totalement; que leur pente y diminue; qu'elle

y eſt, en raiſon de la groſſièreté des matières du fond, & que le lit s'abaiſſera au commencement d'une crue, & s'exhauſſera à la fin.

Nous examinons après cela le cas où il y a une plaine entre la montagne & la rivière qui reçoit le torrent. Nous démontrons qu'alors le lit du torrent ſera aſſez généralement ſupérieur aux terreins adjacens; combien il eſt intéreſſant de le conduire à ſon embouchure par la voie la plus courte, & combien il eſt eſſentiel de le reſſerrer le plus poſſible. Enfin, nous terminons cette ſection par l'examen des cauſes qui produiſent les torrens, & des maux incalculables qui en réſultent. Ce ſujet eſt abſolument neuf, & il eſt de la plus haute importance pour tous les pays de montagnes.

Dans la troiſième ſection, nous traitons de la théorie des rivières que nous diviſons en deux claſſes, ſavoir: 1°. les rivières dont le fond eſt gravier, 2°. celles dont le fond eſt ſable ou limon.

Dans les rivières à fond de gravier, nous examinons d'abord la nature & la pente du lit; nous faiſons voir que le gravier tire ſon origine des montagnes adjacentes, & qu'il ſera plus ou moins abondant & plus ou moins groſſier, ſuivant que ces montagnes ſeront plus ou moins hautes, plus ou moins rapides & plus ou moins proches de la rivière : d'où nous concluons que dans les pays de plaines les rivières ne charieront

point de gravier Nous examinons pareillement la forme des galets du gravier, la cause de leur arrondissement, & les raisons pour lesquelles le lit des rivières s'abaisse nonobstant la prodigieuse quantité de pierres que les torrens ne cessent d'y transporter.

Nous considérons ensuite les rivières prises dans l'état où les eaux se mettent en équilibre avec les matières du fond. Le volume d'eau, la pente du lit & la grossièreté des matières du fond, sont les seuls élémens qui entrent dans cet examen, & c'est de leur combinaison que nous déduisons toutes les variations du fond & les loix qu'il doit suivre. D'où nous concluons que le lit d'une rivière doit former une courbe assymptotique. Cette théorie nous fournit l'occasion de parler des déversoirs de barrage & des rétrécissemens des rivières, ainsi que des effets qui résultent des uns & des autres.

De-là nous passons à l'examen de la corrosion que les eaux exercent sur le fond, & aux moyens de la provoquer & de la modifier à volonté : nous faisons voir que l'équilibre entre l'action des eaux & la résistance du fond exige, que par intervalle il se creuse des gouffres avec contre-pente qui détruisent l'effet de l'accélération, que la profondeur de ces gouffres dépend de celle du courant & du degré de pente, & que leur distance est en raison inverse de la pente; nous discutons toutes les variations que les rétrécissemens produisent sur le fond par

par la corrosion dont les effets peuvent être modifiés par des radiers, & nous en concluons ce grand principe qui sert de bâse à la réduction du lit des rivières, savoir : qu'*il suffit de les resserrer par intervalles pour les réduire.*

Nous examinons enfin les variations des rivières & leur action sur les bords. Après avoir prouvé qu'un lit trop large doit s'exhausser & porter le courant sur les bords, nous suivons son action sur ces mêmes bords dans toutes les hypothèses relatives, soit à leur nature, soit à leur direction, & nous démontrons que la propriété des berges obliques & incorrosibles est d'attirer le courant à elles sans le réfléchir. Nous terminons ce sujet par l'examen des causes qui divisent les rivières en plusieurs branches. A la suite de cet examen, nous indiquons le seul & unique moyen de détruire toutes ces causes.

Dans les rivières à fond de sable & de limon, nous suivons le même ordre que dans celles à fond de gravier. Nous démontrons d'abord qu'elles ont moins de pente ; que leur vîtesse est uniforme, & qu'elles sont moins variables que les autres. Ensuite, après avoir prouvé qu'il ne s'y creusera aucun gouffre d'équilibre, nous les envisageons dans le cas où on les rétréciroit, & nous en déduisons toutes les conséquences qui se rapportent aux rétrécissemens sur les rivières à fond de gravier. Nous parlons de la manière dont les isles

ſe forment dans leur lit, de l'action du courant ſur les bords & des cauſes qui en produiſent la diviſion: Enfin, nous traitons des dépôts qui ſe forment à l'embouchure dans la mer, & des inconvéniens qui en réſultent, ſur-tout dans la Méditerranée, où ils occaſionnent néceſſairement des marais & des plages très-dangereuſes.

La quatrième ſection a pour objet la théorie des torrens-rivières. On ſent bien que cette théorie eſt mixte ; qu'elle ſe compoſe de celle des torrens & de celle des rivières, & qu'elle tient plus ou moins de l'une ou de l'autre, ſuivant que le torrent-rivière ſe rapprochera davantage du torrent ou de la rivière. Ainſi, ce que nous en avons à dire ſe réduit à prouver, que le torrent-rivière aura plus de pente que la rivière qui le reçoit, & à quelques réflexions relatives, ſoit aux gouffres requis par l'équilibre, ſoit à l'exhauſſement & à l'abaiſſement alternatif du lit par l'effet des crues.

Dans la cinquième & dernière ſection de cette partie de notre ouvrage, nous parlons des confluens des torrens, des rivières & des torrens-rivières. Après quelques obſervations générales, dans leſquelles nous faiſons voir entr'autres choſes l'impoſſibilité de déterminer ailleurs que ſur un milieu très-peu réſiſtant, tel que la ſurface de la mer, la direction de la réſultance de deux courans qui ſe réuniſſent, nous examinons ſucceſſivement

les variations qui ont lieu par l'effet du confluent de deux torrens, d'un torrent & d'une rivière ou d'un torrent-rivière, d'une rivière & d'un torrent-rivière, de deux rivières & de deux torrens-rivières; variations que nous déduisons des principes établis dans les sections précédentes.

La deuxième partie de notre ouvrage traite des moyens d'empêcher les ravages des torrens, des rivières & des torrens-rivières. Son objet, comme l'on voit, est des plus intéressans, & il mérite d'être discuté avec le plus grand soin. Nous divisons cette partie en trois sections.

Dans la première section nous exposons les moyens d'empêcher la formation & les ravages des torrens. La formation des torrens n'ayant lieu que sur le penchant des montagnes, on sent d'abord que le premier moyen de les prévenir est d'empêcher la destruction des forêts, & d'assigner un mode qui arrête l'arbitraire des défrichemens. Nous donnons sur ce dernier objet des idées & un plan dont nous croyons l'exécution très-utile à la chose publique. Nous laissons même à nos lecteurs le soin de juger si ce plan ne mérite pas de fixer l'attention du corps législatif, & s'il ne seroit pas à propos de le sanctionner par une loi qui manque jusqu'à présent à notre code rural. Nous parlons ensuite des moyens de détruire les torrens déjà formés, & des cas où cette destruction est impossible.

Arrivés au bas des montagnes où ils se sont formés,

les torrens exigent des moyens particuliers pour être contenus dans leur lit & conduits jusqu'à la rivière destinée à les recevoir. Nous exposons ces moyens, ainsi que l'usage qu'on peut faire des radiers, lorsqu'on emploie des murailles.

La deuxième section traite des moyens de contenir dans leur lit les rivières & les torrens-rivières; elle se divise en deux chapitres.

Le premier chapitre ne parle uniquement que des digues à employer pour remplir l'objet dont il s'agit.

Nous considérons d'abord les digues par rapport à leur direction. L'objet des digues est de détourner le courant de l'endroit qu'on veut garantir; & pour cela elles doivent y produire des attérissemens qui rendent cet endroit plus élevé que le reste du lit de la rivière. Or, les attérissemens ne peuvent être formés que par des eaux mortes & stagnantes, ou qui du moins aient fort peu de vîtesse. D'où il suit que la direction à adopter pour les digues, est celle qui détruira le plus exactement la vîtesse du courant. Nous faisons voir, & tout le monde sent, que la digue parallèle ne détruisant aucune partie de la vîtesse, n'est pas propre à cet objet; qu'il en est de même des digues obliques, puisque leur propriété est d'attirer le courant au lieu de l'éloigner, & qu'elles doivent spécialement être employées à établir la prise d'eau des canaux de dérivation. D'où nous concluons qu'il n'y a que les digues

perpendiculaires, qui, détruisant complettement la vîtesse du courant, aient la propriété demandée. Mais en même tems nous observons que ces digues exigent d'être accompagnées à leur à-bout d'un éperon qui leur soit perpendiculaire, & dont la plus grande longueur soit du côté d'amont. Nous prouvons que cet éperon produira au-devant de la digue, une digue d'eaux mortes qui la mettra à couvert de l'action du courant, & qui permettra de n'employer à sa construction que de la terre & du gravier. Le résultat de cette forme de digue est, qu'elles peuvent être construites avec la plus grande économie; qu'il se formera des attérissemens en amont & en aval; que ces attérissemens fortifieront la digue perpendiculaire; qu'ils auront lieu dès la première crue de la rivière; qu'ils ne pourront pas être en gravier, mais seulement en limon; & qu'enfin on pourra sous très-peu de tems les rendre à l'agriculture.

Nous passons ensuite aux diverses espèces de digues dont nous examinons le profil, les matériaux, la construction & les cas où l'on doit les employer.

Nous commençons par les digues perpendiculaires qui, par le moyen de l'éperon de leur à-bout, ne feront qu'en terre ou gravier, & dont nous développons la construction hors de l'eau & dans l'eau.

Viennent ensuite les digues à *pérés*, qu'on fait n'être que des levées en terre ou en gravier, & dont

le talus exposé à l'action des eaux est garni en pierres. Nous distinguons trois sortes de pérés, savoir : 1°. le péré en pierres d'appareil, en usage sur la Durance, & que nous nommons *péré en dalles* ; 2°. le péré en blocs, que nous appellons *péré en blocaille* ; 3°. le péré en pierres de moyenne ou de petite grosseur, auquel nous donnons le nom de *petit péré*.

Comme il est essentiel que dans les digues à pérés le talus soit toujours à l'abri de l'action des eaux ; nous prescrivons ce qu'il y a à faire dans tous les cas pour remplir cet objet, soit par la disposition des pierres composant les pérés, soit par le moyen des bermes dont nous donnons la description & les dimensions.

Les digues à pierres sèches succèdent aux digues à pérés. Après avoir donné la description de celles usitées dans la ci-devant Provence, nous indiquons les vices qu'elles renferment & la réforme qu'il convient d'y introduire.

Nous parlons ensuite des digues en maçonnerie. Mais comme la construction de ces digues est extrêmement coûteuse, & qu'à raison de cela elles ne peuvent guères entrer dans notre plan, dont le but principal est l'économie à introduire dans les travaux, nous n'en disons qu'un mot en passant.

Après les digues en maçonnerie, nous traitons des digues en gabions. On sait que les gabions sont des

cônes en clayonnage remplis de pierres ou de gravier. Nous faisons voir les avantages & les inconvéniens de ce genre de digues.

Nous passons après cela à une sorte de digues très-peu connue & cependant très-efficace. Ce sont les digues par encaissement à claire-voie, usitées sur les torrens-rivières dans le département des Basses-Alpes, & dans quelques autres départemens des pays de montagnes. Après en avoir donné la description & démontré la solidité, nous indiquons la manière d'en généraliser l'usage.

Nous ne passons pas sous silence les digues en bois. Elles ont d'autant plus de mérite qu'elles sont plus simples, & qu'il est rare qu'elles ne produisent pas leur effet. Dans cette classe sont : 1°. les arbres branchus coupés à demi ou arrêtés solidement avec des liens, & jettés sur une berge corrodée. 2°. Les palissades avec des arbres ramés aux paremens, & dont les pieux sont joints entr'eux avec des liernes; 3°. les digues en clayonnage; 4°. les *chevrettes* ou *chevalets*. Nous donnons la description & les avantages de toutes ces sortes de digues, & sur-tout de celles à *chevalets* au sujet desquelles nous indiquons des réformes bien essentielles.

Les levées ou turcies en usage le long des grandes rivières pour en contenir les hautes eaux, occupent aussi une place parmi nos digues. Après en avoir expliqué

la conſtruction, nous donnons nos idées ſur les moyens de les fortifier & d'empêcher qu'elles ne ſoient percées.

Nous terminons ce chapitre par le réſumé général de toutes les digues dont nous avons parlé, & en indiquant les cas où on doit reſpectivement les employer.

Dans le deuxième chapitre nous appliquons l'uſage de ces digues à la réduction du lit des torrens-rivières & des rivières à fond de gravier. Cette réduction devient, d'après les principes précédens, de l'exécution la plus ſimple. Que par intervalles on rétréciſſe le courant en employant des digues perpendiculaires accompagnées de leur éperon, on les forcera à creuſer leur lit d'un rétréciſſement à l'autre, & d'exhauſſer en même tems leurs bords par des dépôts de limon qu'on pourra bientôt mettre en culture. Nous donnons à ce ſujet tous les développemens dont il eſt ſuſceptible.

Ce moyen s'applique auſſi aux rivières à fond de ſable & de limon. Mais comme aſſez généralement ces rivières ne préſentent pas de terrein à gagner, & qu'on ne les réduit que relativement à la navigation, nous renvoyons cet objet à la troiſième partie.

Enfin, dans la troiſième ſection nous parlons de l'uſage qu'on peut faire des digues perpendiculaires accompagnées d'éperons pour ſimplifier les travaux relatifs à la conſtruction des ponts ſur les rivières à

fond

fond de gravier, & dont la largeur eſt fort conſidérable, comme par exemple, ſur la Durance.

La troiſième partie a pour objet la navigation, le hallage & la flottaiſon des rivières, & elle ſe diviſe en cinq ſections.

Dans la première ſection nous parlons de la navigation des rivières. Après avoir prouvé que, pourvu qu'il y ait profondeur d'eau, toute rivière à fond de ſable ou de limon eſt navigable à la voile, & qu'il en eſt de même des rivières à fond de gravier, lorſque la pente n'excédera pas 3 pouces 6 lignes ſur 100 toiſes, nous faiſons connoître les obſtacles qui y gênent la navigation, ſoit à leur embouchure, ſoit ſur leur cours. Les dépôts qui ſe forment aux embouchures ſont moins nuiſibles aux navires ſur l'Océan, à cauſe des marées. Mais ſur la Méditerranée ils néceſſitent impérieuſement la conſtruction de canaux particuliers. Nous citons à ce ſujet l'embouchure du Rhône, l'ancien canal conſtruit par Marius, & le projet d'un nouveau canal deſtiné à joindre le Rhône pris à la hauteur d'Arles avec le port de Bouc.

Nous faiſons voir enſuite qu'il faut réduire une rivière pour lui donner plus de profondeur d'eau, & que pour la forcer à creuſer ſon lit, il n'y a qu'à la rétrécir par intervalles, ainſi que nous l'avons déjà preſcrit pour les rivières à fond de gravier.

Nous indiquons les matériaux à employer & la forme à donner aux ouvrages, la manière de garantir, des

effets de la corrosion des eaux, les ouvrages d'art qui sont sur ces rivières, & celle d'éviter les ponts. Enfin, nous faisons connoître les avantages qui pourroient en résulter pour l'état.

La deuxième section traite du hallage des rivières. Nous donnons d'abord l'équation générale relative au hallage, soit de remonte, soit de descente; d'où nous tirons toutes les formules y relatives que nous traduisons en langage ordinaire. Cette équation nous donne la raison pour laquelle les rivières des pays de montagnes ne sont pas hallables, tandis que celles des pays de plaines le sont toujours. Nous examinons le cas où, à raison de la trop grande rapidité des eaux, il faut renoncer au hallage, & substituer des canaux latéraux aux rivières, ainsi que celui où l'on peut en barrer le lit pour les rendre hallables. Enfin, nous indiquons ce qu'il convient de faire pour augmenter la profondeur d'eau des rivières dont la pente est relative au hallage.

La troisième section a pour objet la flottaison des rivières. Après avoir expliqué la flottaison par radeaux, & à pièces perdues, & avoir établi en principe que *tout corps ou systême de corps flottant ne doit jamais toucher le fond*, nous examinons les obstacles qui s'opposent à la flottaison, & nous en concluons, que pour l'établir il faut: 1°. réduire le lit des rivières; 2°. atténuer les gros quartiers de pierres qui peuvent s'y trouver; 3°. détruire les cataractes, s'il y en a.

Dans la quatrième section nous traitons de la navigation intérieure de la France ; projet depuis long-tems agité, & au sujet duquel les bâses ne sont pas encore convenues. Après une discussion préliminaire sur les facilités qu'a la France à cet égard, sur les rivières considérées sous leurs rapports commerciaux, sur les grandes vallées, & sur les cas où l'état doit se charger de l'exécution des projets en général, nous fixons les idées sur ce qu'on doit réellement entendre par ce projet. Nous en traçons la route, & nous indiquons les ouvrages d'absolue nécessité à exécuter pour l'effectuer. A cette occasion nous parlons des canaux de communication à construire entre les grandes vallées contiguës ; ce qui nous conduit à quelques réflexions sur les canaux souterrains, & en particulier sur celui ci-devant de Picardie.

Enfin, l'objet de la cinquième section est la navigation à la voile par la Seine jusqu'à Paris, c'est-à-dire, de rendre Paris port maritime, en y faisant aborder les vaisseaux qui s'arrêtent aujourd'hui à Rouen. Il n'y a personne qui ne sente toute l'importance de ce projet, tant pour Paris pris individuellement, que pour le gouvernement dont elle est le centre Mais en même tems on sent qu'il ne faut absolument rien donner au hasard, & qu'en décidant son exécution, non-seulement on doit être physiquement assuré de sa réussite, mais encore qu'on doit connoître avec une

très-grande approximation les frais qui en résulteront, frais, d'ailleurs, qui doivent être les moindres possibles. Or, nos principes remplissent toutes ces vues.

En effet, nous démontrons que la Seine a le degré de pente relatif à la navigation à la voile, & que les nombreuses sinuosités, la multiplicité de ses isles & les divers ponts construits sur son cours, ne sont pas des obstacles qui puissent s'y opposer. Mais elle n'a pas la profondeur d'eau nécessaire, & c'est cette profondeur qu'il faut lui procurer, en employant les moyens les plus simples & les moins dispendieux.

Après avoir examiné succinctement divers projets relatifs au même objet, & démontré les inconvéniens désastreux qui résulteroient du redressement du lit de la rivière, nous fixons ce projet à la solution du problême suivant : *Forcer la rivière par les moyens les plus simples & les plus économiques à creuser son lit, & à prendre la profondeur d'eau nécessaire pour que dans le tems même des plus basses eaux les vaisseaux qui arrivent à Rouen puissent remonter à la voile jusqu'à Paris.* Or, ce problême est résolu par les principes déjà proposés pour la réduction des rivières à fond de gravier & de sable ou de limon.

Ainsi, il ne s'agit que de rétrécir le lit de la rivière par intervalles, pour la forcer à creuser à volonté tout le long de son cours ; & de venir à son secours aux endroits où le fond seroit incorrosible.

Nous exposons succinctement tout ce qui est relatif à la largeur & à la distance des rétrécissemens, à la nature & à la forme des ouvrages, aux précautions à prendre relativement aux digues de barrage, à la sûreté des édifices & au passage des ponts sur la rivière. Nous fixons le terme de la navigation en aval du pont de la Révolution. Nous indiquons pour port un grand canal à construire depuis l'Arsenal, ou à-peu-près, jusqu'à la barrière de la Conférence, en passant par les marais des fauxbourgs Saint-Martin, Saint-Denis, &c. Enfin, nous prouvons que ce procédé résout complétement le problême, & nous terminons ce sujet par des observations qui lèvent généralement toutes les difficultés.

Tel est le plan de l'ouvrage que nous publions. La théorie qu'il renferme, & qu'on peut réellement regarder comme la théorie usuelle, & par-là véritablement utile à la société, est, comme l'on voit, très-circonscrite & fort simple, & néanmoins elle satisfait à tout ce qui se rapporte aux travaux sur les torrens & les rivières, soit relativement à la réduction de leur lit pour gagner du terrein, soit relativement à la navigation, au hallage & à la flottaison. Un seul principe sert de base à l'application de cette théorie pour les rivières: c'est que, quelque soit l'objet qu'on se propose, il faut réduire leur lit; que pour cela il suffit de le resserrer par intervalles, & qu'il faut en général employer à ces rétrécissemens des digues perpendiculaires accom-

pagnées d'éperons parallèles à la direction qu'on doit donner au courant.

Cette théorie nous paroît neuve à bien des égards ; car si l'on parcourt les divers traités que nous avons sur les rivières, on s'appercevra facilement, comme nous l'avons déjà observé plus haut, qu'il seroit impossible d'en déduire un systême de réduction aussi simple & aussi général. On doit remarquer d'ailleurs que tout y est vérifié par des expériences directes ou par des observations.

En 1791, le citoyen Béraud, professeur de mathématiques & de physique expérimentale au collège de Marseille, publia un ouvrage intitulé : *Mémoire sur la manière de resserrer le lit des torrens & des rivières.* Comme dans cet ouvrage il est question des digues perpendiculaires avec des éperons d'accompagnement, & que les journaux du tems en avoient fait mention, nous croyons en devoir dire un mot en passant.

Étant liés d'amitié avec le citoyen Béraud, nous lui communiquâmes en 1785 notre premier manuscrit sur cet objet. Lorsque la révolution survint, il crut, pour des raisons d'avancement, devoir mettre au jour les idées qu'il avoit puisées dans cet ouvrage, mais qu'il n'avoit pas pu concevoir bien nettement. Du reste, cette production est informe & inapplicable à la pratique par la manière dont l'auteur y a traité les choses. Nous lui avons même prouvé dans des observations imprimées

en 1793, que son ouvrage ne contenoit que des assertions fausses ou des faits dénaturés, & qu'il n'avoit jamais conçu l'objet sur lequel il avoit voulu écrire.

Au reste, quoique notre théorie satisfasse à la réduction du lit des torrens & des rivières, ainsi qu'à la navigation, au hallage & à la flottaison, nous ne devons pas cependant nous dissimuler qu'elle peut être perfectionnée par des observations & des expériences plus nombreuses, & faites sur des courans multipliés qui diffèrent entr'eux par la pente & le volume d'eau. Mais pour cela il seroit essentiel que ces observations & ces expériences se fissent en un grand nombre d'endroits & d'après un plan suivi. En conséquence, nous croyons qu'il seroit à propos que le conseil des Ponts & Chaussées fît imprimer à cet égard un programme qui contiendroit le tableau des observations demandées, & la marche qu'on devroit suivre pour les faire. Ce programme seroit envoyé à tous les ingénieurs de département, avec recommandation de faire parvenir tous les ans au conseil, le résultat de leur travail sur cet objet. Par ce moyen on parviendroit bientôt à avoir une masse d'observations qui, rapprochées les unes des autres, nous feroient connoître les loix les plus approximatives de la véritable théorie des torrens & des rivières.

Nos lecteurs voudront bien observer que cet ouvrage a été entièrement rédigé pendant notre séjour

à Paris, qu'obligés de nous rendre à notre poste, ce séjour n'a pas été aussi long que nous l'aurions desiré pour la perfection de cet essai, & qu'il est possible qu'il s'y rencontre quelques inexactitudes que nous pouvons néanmoins donner comme très-légères, & que nous espérons qu'on aura l'indulgence de nous pardonner.

Au surplus, comme il reste encore beaucoup à faire & à découvrir dans cette partie, nous n'avons pas la témérité de croire que notre ouvrage ne laisse rien à desirer.* Mais nous nous flattons néanmoins, qu'en attendant que nous soyons éclairés par un plus grand nombre d'expériences, on pourra employer avec avantage la théorie que nous donnons au public.

ESSAI

ESSAI

SUR LA THÉORIE

DES TORRENS ET DES RIVIÈRES.

1. NOUS diviserons cet ouvrage en trois parties. Division de l'ouvrage.

Dans la première partie, nous traiterons de la théorie des torrens, des rivières & des torrens-rivières.

Dans la seconde, nous exposerons les moyens de les réduire & d'en empêcher les ravages.

Dans la troisième, nous parlerons de la navigation, du hallage & de la flotaison dont elles sont susceptibles.

PREMIÈRE PARTIE.

De la théorie des Torrens & des Rivières.

2. DANS cette partie, après avoir établi les notions préliminaires pour l'intelligence & la suite de cet ouvrage, nous traiterons successivement des objets suivans; savoir: Division de la première partie.

1°. De la théorie des torrens.

2°. De celle des rivières jusqu'à la mer.

3°. De celle des torrens-rivières.

4°. Enfin, des effets produits aux confluens des torrens, des rivières, & des torrens-rivières.

SECTION I.

Notions préliminaires.

§. I.

Observations sur les Montagnes.

L'étude des rivières exige la connoissance de la configuration des parties du globe.

3. LES divers élémens qui entrent dans la théorie des torrens & des rivières, dépendent essentiellement de la hauteur & de la nature des montagnes des pays parcourus dans leur cours; par conséquent il convient avant tout d'examiner la forme & la configuration de la partie de notre globe qui se trouve au-dessus du niveau des mers dont elle est entourée, ainsi que les révolutions qui paroissent y avoir eu lieu de la part des eaux; pour cela nous avons besoin de remonter à l'époque de la création de notre planète, & de consulter les monumens de la nature qu'on rencontre à chaque pas. Ce sera en suivant cette route que nous nous éclairerons sur cet objet.

Du reste, nous ne nous proposons pas de donner ici un traité de géologie, nous laissons ce soin aux savans naturalistes qui voudront traiter ce sujet, *ex professo*. Quant à nous, il nous suffira de recueillir diverses observations, desquelles nous tirerons des inductions analogues à notre objet.

Abaissement du niveau des eaux de la mer d'environ 230 toises.

4. Il est constant que, parmi les pierres connues sous le nom général de *pierres tendres*, dans la classe des pierres calcaires, la plupart ne sont qu'un assemblage d'une infinité de petits coquillages, parmi lesquels se trouvent assez fréquemment mêlées des coquilles d'huître & d'autres productions marines. Nous pourrions en citer un grand nombre

d'exemples, mais nous nous contenterons d'indiquer la barre qui traverſe le chemin d'Aix à Apt, au haut de la montagne entre Cadenet & Lourmarin, dans le département de Vaucluſe. L'on ſent bien que la formation d'un amas auſſi conſidérable de pareils coquillages a exigé que la mer y ſéjournât pendant un très-long eſpace de tems : car il eſt viſible que la choſe n'auroit pas pu s'effectuer pendant le court intervalle que l'hiſtoire de Moïſe accorde au déluge. Or, les plus hautes carrières de cette nature que nous avons rencontrées ne ſont qu'à environ 230 toiſes au-deſſus du niveau actuel de la mer. Donc, la mer a couvert pendant long-tems toutes les terres qui ſont aujourd'hui à 230 toiſes au-deſſus de ſon niveau, & puiſque ſupérieurement à ce terme il ne ſe rencontre aucun amas pareil de dépouilles marines, mais ſeulement quelques pétrifications iſolées & éparſes çà & là, il s'enſuit qu'on doit regarder la hauteur de 230 toiſes ou environ, comme le point au-delà duquel les eaux de la mer n'ont fait qu'un ſéjour de peu de durée à la ſuite de quelque grand bouleverſement dans l'ordre de la nature.

5. L'obſervation ſuivante prouve pareillement que dans un tems le niveau des eaux de la mer étoit beaucoup plus élevé qu'il n'eſt aujourd'hui. En parcourant les vallées au fond deſquelles ſe trouvent des rivières qui charrient du gravier, on trouve ordinairement des cailloux roulés, & ſouvent le gravier pur de ces rivières, a une très-grande hauteur au-deſſus de leur lit actuel. Il a donc exiſté une époque où le lit de ces rivières étoit beaucoup plus élevé qu'il n'eſt aujourd'hui. Or, on verra par la ſuite de cet ouvrage que, toutes choſes ſuppoſées égales, la hauteur de l'embouchure des rivières fixe celle de tous les points de leur cours. D'ailleurs, quiconque eſt obſervateur aura pu remarquer, & nous le démontrerons plus bas, qu'en barrant le lit d'une rivière par un *déverſoir*,

ce lit s'exhausse en amont à proportion de la hauteur de ce déversoir, & qu'au contraire il s'abaisse si ce déversoir est détruit. D'où l'on concluera évidemment qu'on aura le même effet en substituant la mer au déversoir. Donc, puisque le lit de toutes les rivières a été autrefois beaucoup plus élevé qu'il n'est à présent, il s'ensuit que dans un tems les eaux de la mer s'élevoient beaucoup au-dessus de leur niveau actuel.

6. Nous n'entreprendrons pas d'examiner quelle est la cause de l'abaissement des eaux de la mer. Cette question est bien plus du ressort de l'histoire naturelle que de l'hydraulique. Il nous suffit d'avoir exposé le fait & d'en avoir rapporté les preuves. Quant aux causes, nous les regardons comme étrangères à notre objet, & nous en abandonnons la recherche à ceux qui auront la curiosité de s'en occuper.

Discussion sur l'origine des montagnes.

7. Si les plus hautes montagnes de notre globe n'avoient pas au-delà de 230 toises de hauteur perpendiculaire au-dessus du niveau actuel des eaux de la mer, nous pourrions conclure, avec certitude, que lors de la création, ces eaux couvroient absolument toute la superficie de la terre; mais nous trouvons répandues par-tout des masses énormes de montagnes dont les sommets s'élèvent à une bien plus grande hauteur. Telles sont entr'autres dans l'ancien continent les Pyrénées, les Alpes, & leurs ramifications; le Caucase, le mont Atlas, &c.; & dans le nouveau, les Cordillières, les Apalaches, &c. Les cordillières, par exemple, dans le Pérou, ont au-delà de 3,000 toises. Ces montagnes, aujourd'hui divisées en une infinité de pics & de pointes excessivement variées, accompagnées de déchiremens, & de précipices sans nombre, qui ne présentent presque par-tout que l'image du désordre & du bouleversement; ces montagnes, disons-nous, étoient-elles dans l'origine telles que nous les trouvons à présent? C'est une question que nous allons tâcher de résoudre; question

qu'on ne doit pas regarder comme oiſeuſe & de pure curioſité; car nous verrons par la ſuite que ſa ſolution ſe lie avec la théorie des torrens & des rivières.

8. Il eſt naturel de croire que dans l'origine des choſes le créateur a conſolidé la charpente de ſon édifice par un degré de ſtabilité au-delà du terme de l'équilibre. Il a donc dû donner un pareil degré de ſolidité aux montagnes pour empêcher qu'elles ne s'écroulaſſent d'elles-mêmes. Ce degré de ſolidité dans les montagnes dépend eſſentiellement de l'empâtement de leur baſe, ou ce qui eſt la même choſe, de l'inclinaiſon de leur talus relativement à l'horiſon ou à la ligne du niveau; or, l'angle d'équilibre pour les terres eſt de 45 degrés, & il eſt moindre pour les ſables. Donc puiſque les obſervations nous prouvent que dans une infinité de cas les rochers qui couronnent nos montagnes portent ſur des matières terreſtres, il s'enſuit que dans l'origine le penchant des montagnes devoit former avec l'horiſon un angle moindre que 45 degrés; mais il eſt très-rare que les montagnes priſes dans leur état actuel, n'aient pas quelqu'une de leurs faces dont la déclivité ne ſoit plus ardue, & ne faſſe avec la ligne de niveau un angle ſenſiblement plus grand que 45 degrés; donc un pareil état de choſes n'a pas été primordialement établi par le créateur.

D'autre part, il eſt conſtant par l'expérience journalière que ces dégradations ſont habituellement produites par les pluies, les avalanches, le gel & dégel, &c.; & il n'y a perſonne d'un certain âge qui ne ſe ſoit apperçu des progrès des déſordres produits par ces cauſes; donc, puiſque ces effets augmentent journellement, il eſt viſible qu'en rétrogradant vers l'époque de la création, ils doivent toujours décroître. Donc, lors de la création, ces cauſes n'ayant pas encore agi, ces effets ne devoient pas ſubſiſter.

Ainſi, il paroît démontré de toutes les manières, que

lors de la création les montagnes n'étoient point dégradées ni séparées par des vallées comme elles le sont aujourd'hui, puisque tous ces effets ont été produits par des causes qui n'ont pu agir que postérieurement à cette époque, & que d'ailleurs dans une infinité d'endroits les pentes existantes sont même incompatibles avec la stabilité.

9. Puis donc qu'il n'y avoit alors dans les chaînes de montagnes ni dégradation ni division par des gorges ou vallées, il est bien naturel de croire que chacune de ces chaînes ne formoit qu'une seule et même masse plus ou moins convexe, mais supérieure à la mer, & que cette convexité se propageoit dans tous les sens par une pente plus ou moins forte jusqu'à la superficie des eaux qui couvroient la partie restante du globe. L'observation suivante le prouve d'ailleurs assez.

En effet, qu'on prenne la crête ou ligne culminante de toutes les chaînes de montagnes, on verra que tant d'un côté que de l'autre il se trouve une infinité d'autres montagnes moins élevées que celles de la crête, dont le sommet décroît continuellement de hauteur, ou s'abaisse progressivement à mesure qu'on s'avance de toutes parts vers la mer, ou qu'on s'éloigne de la partie culminante du noyau; d'où l'on concluera, qu'avant que ces masses fussent déchirées & sillonnées par les profondes vallées que nous y remarquons, les divers plans dont l'assemblage formoit leur convexité primitive, passoient à-peu-près par les sommets des différentes montagnes partielles résultantes de toutes les dégradations & de tous les déchiremens qui ont eu lieu depuis l'époque de la création : plans qui par conséquent étoient tous inclinés vers la mer.

10. Si l'abaissement total du niveau des eaux de la mer s'étoit opéré tout à la fois, ou du moins dans un très-court intervalle de tems, on auroit sans doute remarqué que la

ſuperficie des terres abandonnées par cette retraite des eaux, formoit à-peu-près la ſuite des plans inclinés qui terminoient primordialement la convexité des maſſes de chaînes de montagnes. Mais cet abaiſſement ne s'étant opéré que progreſſivement & par degrés inſenſibles, les cauſes qui ont dégradé la convexité de ces maſſes ont dû néceſſairement agir ſur les délaiſſemens de la mer à meſure qu'ils ſe découvroient, & c'eſt auſſi ce que les obſervations nous prouvent.

11. L'on voit donc que par l'abaiſſement progreſſif du niveau des eaux de la mer, l'étendue des continens doit habituellement s'accroître, nonobſtant la corroſion que ces eaux exercent en pluſieurs endroits ſur les côtes; car les corroſions ſe manifeſtent toujours par des eſcarpemens qui n'ont guères lieu qu'aux endroits élevés, et où les progrès de la mer s'opèrent très-lentement. Mais cet abaiſſement du niveau des eaux n'eſt pas la ſeule cauſe qui produiſe un pareil effet. Il y en a deux autres qui agiſſent d'une manière bien plus ſenſible.

Accroiſſement de la ſurface des continens.

La première de ces cauſes eſt l'action de la marée, qui en pluſieurs contrées, ſuivant la diſpoſition des lieux et la direction, ſoit des vents, ſoit des courans, éjecte continuellement ſur les côtes, des ſables, des galets, &c. Ces matières étrangères accumulées, exhauſſent inſenſiblement la grève, qui à l'aide, ſoit de l'induſtrie humaine, ſoit des cauſes qui agiſſent naturellement ſur la partie ſèche des continens, devient enfin ſupérieure aux ſubmerſions maritimes. Nous en avons l'exemple en pluſieurs endroits des côtes de France ſur l'Océan.

La ſeconde de ces cauſes conſiſte dans l'action des fleuves et des rivières à leur embouchure dans la mer. On ſait que dans les pluies, les eaux des fleuves et des rivières perdent leur limpidité, & que cet effet eſt occaſionné par le mélange des terres qu'elles détachent des montagnes et de tous les endroits en pente. Ces matières ſont donc charriées par

les eaux qui les tiennent en diſſolution par leur mouvement, & qui les pouſſent à leur embouchure vers l'intérieur de la mer. Mais d'un autre côté, la mer, par ſon agitation continuelle & par ſa réaction, tend à les repouſſer & à les rejetter vers la côte. Elles ſeront donc dépoſées à l'endroit où il y aura équilibre entre la force du courant du fleuve et la réaction des eaux de la mer; & c'eſt-là qu'elles formeront des barres ou des iſles, ſuivant les circonſtances & les localités.

L'embouchure du Rhône nous offre un exemple bien remarquable de la rapidité de ce genre d'attériſſemens. On ſait qu'il y a environ quatre-vingt-cinq ans ce fleuve abandonna ſon ancien lit appellé *Bras de Fer*, pour ſe jetter dans le canal des Lônes, où il s'eſt maintenu juſqu'aujourd'hui. A cette époque, on conſtruiſit à ſon embouchure même la tour Saint-Louis. Or, depuis lors, cette embouchure s'eſt avancée dans la mer juſqu'à environ 3000 toiſes au-delà de cette tour qui peut conſtamment ſervir de terme de comparaiſon pour connoître les progrès des attériſſemens ſur cette plage.

Degré de pente de ces accroiſſemens.

12. Les terres qui compoſant la convexité des maſſes primitives des montagnes, ont été dès l'origine ſupérieures au niveau des eaux de la mer, & celles que ces eaux ont laiſſées à ſec en s'abaiſſant, ont toutes un degré de déclivité bien ſenſible; & ce degré eſt plus ou moins conſidérable ſuivant la hauteur des montagnes primitives & leur diſtance aux côtes. Mais il n'en eſt pas de même des attériſſemens dont nous venons de parler (11). Ces attériſſemens ont en général très-peu de pente. Il arrive même ſouvent que non-ſeulement ils n'en ont point du tout, mais même qu'il y a contre-pente. Dans ce dernier cas, il doit s'y former des marais, & c'eſt ce qui a particulièrement lieu dans les attériſſemens produits par la première cauſe, ainſi que l'expérience ne le prouve

que

que trop sur les côtes occidentales de la France. Lorsqu'au contraire ces attérissemens ne sont pas en nature de marais, & que par conséquent ils ont une certaine pente, cette pente est relative aux alluvions des fleuves & des rivières qui en ont produit l'exhaussement par des dépôts de limon. Mais les eaux de ces fleuves ou rivières en ayant elles-mêmes très-peu en ces endroits, il est visible que par leurs dépôts elles ne peuvent en donner qu'à proportion de la leur, aux attérissemens dont nous parlons.

Dégradation des montagnes par les fondrières.

13. Nous verrons dans le courant de cet ouvrage de quelle manière les eaux des terres & des rivières ont dégradé les masses primitives, ainsi que les montagnes partielles qui en sont résultées. Mais cette cause n'est ni la seule ni la principale qui ait produit les grandes dégradations. Ces dégradations proviennent ordinairement des fondrières qui forment ces précipices affreux dont les flancs des montagnes sont si souvent déchirés; & ces fondrières résultent communément du gel & du dégel, ainsi que des avalanches qui en sont la suite.

En effet, supposons qu'une montagne déjà assez ardue par l'action des eaux pluviales soit couverte d'une couche de neige d'une certaine épaisseur, & qu'aux approches du printems, la neige superficielle fonde par l'action du soleil, les eaux qui proviendront de cette fonte pénétrant jusqu'à la surface du terrein, détruiront l'adhésion qui existoit entre la terre & la neige, & faisant les fonctions de rouleaux qu'on met sous les grands fardeaux pour les faire mouvoir, elles provoqueront la chûte de la neige sur le penchant de la montagne. Or, on sent que dans cette chûte la masse de la neige s'accroît continuellement : qu'il en est de même de la vîtesse & de la quantité de son mouvement qu'on sait être le produit de la masse par la vîtesse, & que par cette prodigieuse augmentation de force une partie des terres, & même des pierres & des rochers de la montagne doit en être détachée

pour être entraînée pêle-mêle avec les neiges de l'avalanche : ce qui eſt parfaitement conforme à l'expérience.

Cauſe des fondrières.

14. Il n'eſt pas même néceſſaire dans bien des cas que les montagnes ſe couvrent de neige pour être ainſi dégradées. La ſimple action du gel & du dégel ſuffit. On ſait que le gel & le dégel rendent les terres extrêmement friables, qu'ils attaquent même les pierres, les fendillent & les atténuent. Que, dans cet état de choſes, il ſurvienne une forte pluie, il eſt viſible que les eaux entraîneront tout ce qui ſera détaché de la maſſe & dégraderont la montagne par-tout où le gel & le dégel auront exercé leur action. Or le dégel depend, ainſi que les avalanches, de l'action plus ou moins forte du ſoleil, & cette action étant, toutes choſes d'ailleurs égales, proportionnelle à ſa durée, on ſent bien qu'elle dépend, par là-même, de l'expoſition & de la direction du penchant de la montagne qui la reçoit. Il nous reſte donc à fixer cette expoſition & cette direction.

Quelles ſont les limites des fondrières.

Fig. 1^ere^.

15. La fonte des neiges s'opérant ſur les montagnes, particulièrement aux environs de l'équinoxe du printems, c'eſt ſurtout dans cette ſaiſon qu'arrivent les éboulemens & les avalanches. Or, à cette époque, l'atmoſphère étant encore refroidie par les frimats de l'hiver, cette fonte ne peut guères s'opérer efficacement que par l'action continue du ſoleil pendant huit ou neuf heures. Tirons donc dans le cercle E S O N (*fig.* 1^re^.) les deux diamètres O E & N S qui, ſe coupant à angles droits, ſont ſuppoſés ſe diriger reſpectivement vers les quatre points cardinaux eſt, oueſt, nord & ſud, déſignés ſur la figure par leurs lettres initiales reſpectives. Le ſoleil ſera cenſé ſe lever en E & ſe coucher en O. Soient C A & C B les directions extrêmes des faces des montagnes à l'eſt & à l'oueſt qui pourront recevoir, ſans interruption, l'action des rayons ſolaires, pendant huit heures ou environ, dans le courant de la journée. Comme il n'eſt queſtion ici que d'une approximation, même fort groſſière, il ſeroit ridicule d'employer l'échafaudage des

calculs de la trigonométrie ſphérique pour déterminer la valeur des arcs horaires pris à l'horiſon E S O N. Nous ſuppoſerons donc ſimplement que ces arcs ſont les mêmes que leurs correſpondans ſur l'équateur, c'eſt-à-dire, chacun de 15 degrés.

Le ſoleil ſe levant à ſix heures, arrivera à dix heures au point F & à deux heures du ſoir au point D. Les arcs E D & F O ſeront donc chacun de huit heures. Par conſéquent, pour que les faces tournées du côté du ſoleil puiſſent recevoir ſes rayons pendant cet eſpace de tems, il faut que C D & C F ſoient reſpectivement les prolongemens de C A & C B. Il ne s'agit donc plus que d'évaluer, d'après cela, les angles N C A & N C B formés par ces deux lign.. & par la ligne N C dirigée nord & ſud.

Les arcs ED & FO étant chacun de huit heures, vaudront chacun 120 degrés. Donc, les arcs AE & BO qui ſont leurs ſupplémens, vaudront chacun 60 degrés; mais ces deux derniers ont pour complémens les arcs AN & BN reſpectivement. Donc les angles NCA & NCB ſeront chacun de 30 degrés.

Donc ſi l'on a une montagne dont la crête ſinueuſe forme une portion quelconque de polygone, *toutes les faces tournées du côté du ſoleil & correſpondantes aux portions de la crête qui feront avec la ligne nord & ſud des angles au-delà de* 30 *degrés, ſeront ſujettes aux dégradations que produiſent les avalanches & les éboulemens ; & elles ne ſeront qu'accidentellement dans ce cas, lorſque cet angle ſera au-deſſous de* 30 *degrés.*

16. De-là nous concluerons que les penchans des montagnes poſtérieurs & oppoſés à ceux dont nous venons de parler, ne ſeront que caſuellement ſujets à ces dégradations. Car pour cela, devant éprouver l'action du ſoleil pendant environ huit heures, il faudroit que cet aſtre reſtât au moins ſeize heures ſur l'horiſon ; & ſi la montagne étoit dirigée ſuivant O E, il faudroit qu'il y reſtât vingt-quatre heures; ce qui n'eſt pas poſſible. Il eſt vrai que dans ce cas le ſoleil

peut éclairer pendant assez long-tems les revers de ces montagnes. Mais comme ce n'est qu'en les effleurant & d'une manière très-oblique, l'action de ces rayons y devient à-peu-près nulle.

Toutes les montagnes sont en pente douce du côté du nord.

17. Nous pouvons donc dire en général, que les montagnes qui nous paroissent les plus ardues, ont toujours au moins une de leurs faces qui est en pente douce, & que cette face est constamment tournée du côté du nord & opposée au soleil. C'est ce que nous avons toujours remarqué dans la partie des Alpes comprise dans la ci-devant Provence. Ceux qui ont parcouru les montagnes de la Suisse, des Pyrénées, &c. peuvent aussi avoir fait de semblables observations.

Les ouvrages publics doivent être construits sur les faces qui regardent le nord.

18. Supposons à présent qu'une rivière bordée de chaque côté par une chaîne de montagnes qui ne laissent à-peu-près que l'espace nécessaire au passage des eaux, ait sa direction du nord-est au sud-ouest, & qu'il faille de nécessité placer un ouvrage d'utilité publique, tel, par exemple, qu'un chemin, dans cette vallée, ainsi que la chose arrive journellement dans les pays de montagnes. L'angle formé par cette direction & par la ligne nord & sud excédant 30 degrés, on peut être persuadé (15) que la face de cette vallée qui regarde le soleil sera assez généralement dégradée; tandis qu'il n'en sera pas de même de celle qui sera du côté du nord (16). Or dans ce cas, on voit évidemment que si l'on place l'ouvrage à construire sur la première face, il sera exposé à être fréquemment ruiné, & qu'on ne courra pas les mêmes risques en l'établissant sur la face qui regarde le nord.

Utilité de ces observations pour la tactique.

19. Ces observations peuvent être aussi de la plus grande utilité dans la tactique. Qu'il s'agisse, par exemple, d'aller attaquer l'ennemi retranché au haut d'une montagne qui n'offre que des précipices, on doit être assuré, par tout ce que nous avons dit à ce sujet, que la face du nord sera

acceſſible, & que c'eſt de ce côté qu'il faudroit diriger l'attaque.

Et pour faire connoître les projets aux Adminiſtrations.

20. Ces mêmes obſervations peuvent auſſi faciliter dans une infinité de cas la dreſſe des projets des ingénieurs, & diriger d'une manière aſſez sûre le jugement des Adminiſtrations, car il ne faut avoir pour cela qu'une carte bien détaillée, qui préſente exactement les montagnes & les vallées des localités; en comparant la direction de ces montagnes avec la ligne nord & ſud, on pourra, ſans ſe porter ſur les lieux, prévoir & préjuger les obſtacles & les facilités, du moins juſqu'à un certain point.

Exception à la règle ſur les limites des fondrières.

21. Nous avons dit (15 & 16) qu'il étoit poſſible que caſuellement & accidentellement les penchans à l'abri des dégradations ſolaires par leur direction, & leur poſition vers le nord n'en fuſſent pas quelquefois exempts. Suppoſons en effet d'une part, que par l'action d'une rivière qui en corrodera la baſe, & à la ſuite de défrichemens mal entendus, ces penchans ſoient parvenus à un certain degré de déclivité; & de l'autre, qu'il y ait en divers endroits des filtrations de ſources, il eſt viſible que dans ce cas ces penchans ſeroient dans la claſſe de ceux dont nous avons parlé (13), avec cette différence que les éboulemens toujours occaſionnés par les eaux, ſeront de terre & non de neige, & qu'ils auront ſurtout lieu après les longues pluies. Mais ce cas eſt particulier, & ne peut être regardé comme une preuve contraire à ce que nous avons dit.

22. Quoique les fondrières ne ſe rapportent pas directement aux dégradations qui ont été produites ſur les maſſes de montagnes, par les torrens & les rivières; cependant, comme cet objet tient à la déclivité des montagnes; que cette déclivité eſt un des élémens de la théorie des torrens & des rivières; que d'ailleurs, ce même objet a un très-grand rapport avec les travaux du reſſort du génie, & que perſonne,

que nous ſachions, n'en a parlé juſqu'à préſent, nous avons cru, d'après ces motifs, devoir l'expoſer dans cet ouvrage, comme pouvant être utile dans un grand nombre de cas, & ſur-tout, lorſqu'il s'agit de la conſtruction de chemins dans les pays de montagnes.

Nous allons à préſent parler de l'origine des ſources & des fontaines, dont les eaux réunies forment les fleuves & les rivières.

§. II.

De l'origine des Sources & des Rivières.

L'air & la chaleur ſont les principaux agens des ſources.

23. Ce ſujet a déjà été traité fort au long & dans le plus grand détail, par un grand nombre d'auteurs, parmi leſquels on diſtingue ſur-tout Mariotte : ainſi, nous n'en dirons que deux mots en faveur de ceux de nos lecteurs qui n'auront pas encore des connoiſſances exactes à cet égard.

L'air & la chaleur étant les deux agens principaux qui coopèrent à la formation des ſources, il eſt eſſentiel d'établir, avant tout, quelques principes qui s'y rapportent, & qui ſervent de baſe à cet objet.

L'air eſt eſſentiellement néceſſaire à la vie.

24. *L'air eſt eſſentiellement néceſſaire à la vie.* Les expériences multipliées qu'on a faites, par le moyen de la machine pneumatique, ne laiſſent aucun doute à cet égard. Qu'on mette un oiſeau, ou tout autre animal, ſous le récipient, & qu'on faſſe enſuite le vuide, on verra bientôt cet animal expirer.

L'air enveloppe tout le globe.

25. *L'air eſt répandu tout autour du globe terreſtre.* Car les voyageurs ſont montés au ſommet des plus hautes montagnes; donc (24) il y avoit de l'air. D'ailleurs, la même choſe eſt prouvée par les voyageurs aériens, qui, de nos jours, ſe ſont élevés à de très-grandes hauteurs, par le moyen des aéroſtats.

L'air, ainſi répandu autour de la terre, forme ce que nous appellons l'*atmoſphère.*

26. *L'air est un fluide compressible & élastique.* Les ballons à jouer en sont une preuve à la portée de tout le monde. On sait que ces sortes de ballons sont remplis d'air comprimé, & l'on voit qu'en tombant à terre, ils se relèvent à plusieurs reprises.

L'air est compressible & élastique.

27. *Le poids d'une colonne d'air de l'atmosphère est égal à celui d'une colonne d'eau de même base & de 32 pieds de hauteur.* La preuve en est, que dans les pompes aspirantes, l'eau qui monte par la seule pression de l'air, ne s'élève que jusqu'à cette hauteur.

Poids d'une colonne d'air.

28. D'où il suit que *l'air est un fluide pesant.* Car (27) si la colonne entière a un poids, les parties intégrantes doivent aussi en avoir un, puisque le poids du tout se compose de celui des parties.

Donc l'air est un fluide pesant.

29. L'expérience prouve que le poids de l'air, pris à la surface de la terre, n'est qu'environ que la huit centième partie de celui de l'eau : d'où on conclut que le pied cube d'eau pesant soixante-dix livres, *le pied cube d'air pèse à-peu-près 1,4 onces.*

Poids d'un pied cube d'air à la surface de la terre.

30. *La densité de l'air décroît en s'élevant au-dessus de la surface de la terre.* Soient ABCD (*fig.* 2.) la surface de la terre, & A'B'C'D' la surface présumée de l'atmosphère. Partageons l'air de l'atmosphère en une infinité de couches concentriques à la terre, & désignées par les nombres naturels 1 2 3 4, &c. chaque couche sera chargée du poids de toutes les couches supérieures. Donc la couche 1 sera plus chargée que la couche 2; celle-ci plus que la couche 3, & ainsi de suite. Mais (26) l'air est compressible. Donc, plus il sera chargé, plus il sera comprimé, & plus il aura de densité : donc les couches inférieures seront plus denses que les couches supérieures, & par conséquent la densité de l'air doit continuellement décroître en s'élevant au-dessus de la surface de la terre.

La densité de l'air décroît en s'élevant au-dessus de la surface du globe.

Fig. 2e.

L'expérience vient à l'appui de cette démonstration. Ceux qui sont montés au sommet des plus hautes montagnes, ou qui

ſe ſont élevés à une très-grande hauteur par le moyen des aéroſtats, ſe ſont apperçus que leur reſpiration y étoit gênée; ce qui ne pouvoit avoir lieu que par un excès de rareté dans l'air.

Conſéquence qui en réſulte pour l'aſcenſion des corps légers.

31. Donc, *ſi un corps eſt ſpécifiquement plus léger que la couche d'air dans laquelle il ſe trouve, il s'élevera juſqu'à ce qu'il ſoit parvenu à la couche de même denſité.* La choſe eſt démontrée par les principes d'hydroſtatique. En effet, un corps plongé dans un fluide, perd autant de ſon poids que pèſe le volume de fluide déplacé. Donc, ſi le corps pèſe moins qu'un pareil volume de fluide, il ſera pouſſé de bas en haut par le fluide, avec une force égale à la différence des poids : donc le corps ne s'arrêtera que lorſque cette différence ſera nulle; c'eſt-à-dire, lorſqu'il ſera parvenu à une couche de même peſanteur ſpécifique.

La choſe eſt d'ailleurs prouvée par l'aſcenſion des ballons aéroſtatiques qui s'élèvent par l'action du feu. Ces ballons montent juſqu'à la hauteur des couches d'air, dont la denſité eſt telle que le volume déplacé pèſe autant que le ſyſtême; mais ils deſcendent à meſure que la chaleur diminuant, l'air entre dans la machine, & le ſyſtême devient plus peſant.

La chaleur convertit l'eau en vapeurs.

32. *L'action du feu ou la chaleur convertit l'eau en vapeur.* On ſait, en effet, par expérience, que la chaleur dilate tous les corps; elle doit donc produire, & elle produit réellement le même effet ſur l'eau.

C'eſt auſſi ce qui eſt amplement prouvé par toutes les opérations chimiques. Mais comme ces opérations ne ſont pas connues de tout le monde, & que nous voulons nous mettre à la portée de tous nos lecteurs, nous allons citer un exemple qui n'eſt ignoré de perſonne.

Qu'on mette ſur le feu un vaſe avec de l'eau, & qu'on couvre ce vaſe d'un couvercle, auſſi-tôt que la chaleur commence à ſe faire ſentir à l'eau, on s'appercevra que le deſſous du couvercle

devient

devient humide : or, cette humidité ne peut provenir que de l'eau contenue dans le vase, & qui s'élève en vapeur.

33. *Si l'eau contenue dans le vase est mêlée avec des parties hétérogènes, ces dernières resteront dans le vase, & l'eau seule s'évaporera.* C'est ce qu'on voit évidemment, dans le cas où le vase dont nous venons de parler seroit une casserolle contenant un ragoût quelconque : l'eau seule s'attache à son couvercle.

L'eau s'évapore sans mélange de parties hétérogènes.

34. *L'action du soleil produit sur l'eau le même effet que celle du feu.* Car les rayons solaires sont toujours accompagnés d'une certaine chaleur. Cette chaleur doit donc opérer le même effet que celle du feu, dont nous venons de parler (32 & 33).

L'action du soleil convertit l'eau en vapeurs.

On peut d'ailleurs s'en convaincre par l'expérience. Qu'on expose au soleil un vase avec de l'eau, on s'appercevra que le volume de cette eau diminuera d'autant plus que la chaleur du soleil sera plus grande.

35. *L'eau convertie en vapeurs, peut occuper un volume 14000 fois plus grand que dans son état naturel.* La chose est démontrée par des expériences qu'on trouve dans tous les ouvrages de physique. Nous observerons seulement ici que le volume de l'eau convertie en vapeur est d'autant plus grand, que la chaleur est plus forte ; ce qui est naturel, les effets étant toujours proportionnels aux causes qui les produisent.

Volume de l'eau convertie en vapeurs.

36. Nous avons dit ci-dessus (29) que la pesanteur spécifique de l'eau prise dans son état naturel est à celle de l'air prise à la surface de la terre :: 1 : 800 ou à-peu-près donc :

L'eau convertie en vapeur s'élève dans l'athmosphère.

1°. Si l'eau convertie en vapeur prend un volume de 800 fois plus grand que celui qu'elle a dans son état naturel, elle sera, dans ce nouvel état, de même densité que l'air ambiant avec lequel elle se mêlera alors nécessairement : car telle est la propriété de deux fluides de même densité.

2°. Si cette eau prend par l'évaporation un volume plus considérable, elle doit s'élever à travers les couches d'air qui seront plus denses de la même manière, que l'huile, par

exemple, s'éléve à travers l'eau ; & elle montera jusqu'à la hauteur de la couche qui sera de même densité (30 & 31).

La moindre chaleur suffit pour l'évaporation de l'eau.

37. *L'eau n'a besoin que d'un très-petit degré de chaleur pour prendre le volume relatif à l'évaporation.* C'est encore une observation que tout le monde peut faire. On verra que dans le vase mentionné ci-dessus (32) l'humidité se manifeste au-dessous du couvercle avant que l'eau soit parvenue à l'état de tiédeur.

L'action du vent produit aussi l'évaporation de l'eau.

38. *L'action du vent produit aussi l'évaporation de l'eau.* Pour le démontrer, supposons une superficie déterminée couverte d'eau. Le vent n'étant autre chose que l'agitation de l'atmosphère, renouvellera continuellement la colonne d'air qui répond à cette superficie, & en même tems il atténuera & divisera les parties d'eau les plus exposées à son action. Ces particules ainsi atténuées deviendront plus légères que la couche d'air contigu, & s'élèveront dans l'atmosphère.

Si l'on veut s'en assurer par l'expérience, qu'on expose au vent un vase découvert & plein d'eau ; on ne tardera pas de s'appercevoir de l'évaporation, par l'abaissement de la superficie de cette eau.

D'autre part, qu'on jette les yeux sur l'horizon ; on le verra bien plus chargé de vapeurs par un tems couvert, que par un tems calme.

L'évaporation des eaux sur la surface du globe forme les nuages & les pluies.

39. Ces principes préliminaires posés, il nous sera aisé d'expliquer l'origine des eaux qui alimentent nos sources & nos rivières.

Les eaux couvrent la plus grande partie de la surface de notre globe, soit par la mer, soit par les lacs, les étangs, & les marais ; soit enfin par les fleuves & les rivières. Les parties superficielles de ces eaux étant immédiatement exposées à l'action des rayons solaires & des vents, sont converties en vapeurs, (34, 37 & 38) & elles s'élèvent à une certaine hauteur dans l'atmosphère (36 2°.) sans aucun mêlange de parties salines

ni étrangères quelconques (33). C'eſt-là que ſuivant la nature & la direction des vents qui règnent dans cette région de l'air, ces vapeurs ſe condenſent, forment des nuages, & devenant plus peſantes que l'air, tombent ſur la ſurface de la terre, tantôt ſous la forme de pluie douce, tantôt par *averſe*, et ſous la forme d'orage, ſelon les circonſtances & l'état de l'atmoſphère. Telle eſt l'origine des eaux pluviales. Or, ce ſont ces eaux qui alimentent nos ſources & nos rivières, ainſi que nous allons voir.

Quelle eſt la quantité d'eau pluviale qui tombe dans une année.

40. Il tombe moyennement & annuellement en France une couche d'eau pluviale de 20 pouces ou environ d'épaiſſeur. Sur le reſte de la ſurface du globe, il y a quelque pays où il en tombe moins. Mais en compenſation, il y en a pluſieurs où il en tombe une beaucoup plus grande quantité. Il y en a même quelques-uns où il en tombe près de 100 pouces. Ces variations, dans la quantité d'eau pluviale, dépendent de la direction des vents qui pouſſent les nuages, de la poſition, ainſi que de la hauteur des chaînes de montagnes qui les arrêtent, &c. Nous ne pouvons pas dire que la quantité moyenne d'eau pluviale qui tombe annuellement en France ſoit la quantité moyenne qui tombe ſur le globe : car la plupart des autres pays, tant du nord que du midi, ayant des pluies beaucoup plus abondantes que nous, tout nous indique au contraire que cette quantité moyenne doit être au-deſſus de 20 pouces pour toute la ſurface de la terre. Mais comme les obſervations météorologiques nous manquent à cet égard, nous ne pouvons pas aſſigner cette quantité d'une manière auſſi préciſe que pour la France. Il s'agit de ſavoir à préſent ſi l'évaporation ſeule peut ſuffire à une auſſi grande quantité d'eau.

Quelle eſt l'évaporation annuelle.

41. Dans la partie méridionale de la France, l'évaporation annuelle ſur la ſurface des lacs, & des étangs, eſt ordinairement de 36 pouces, lorſqu'il règne beaucoup de vents,

ou des grandes chaleurs, elle va jusqu'à 40 pouces, & en général c'est-là son *maximum*. Quelquefois aussi elle est moindre que 36 pouces; & cela par la raison contraire. Mais *36 pouces doivent être regardés comme le terme moyen de l'évaporation annuelle dans tout le midi de la France.*

42. On sent facilement que cette évaporation doit être plus grande dans les pays plus voisins de l'équateur, & qu'elle doit être moindre dans ceux plus voisins des pôles; les premiers étant plus chauds & les seconds plus froids. Cependant comme la partie méridionale de la France est sous la latitude moyenne de 45 degrés, nous pouvons regarder l'évaporation moyenne qui y a lieu, comme l'évaporation moyenne sur toute la surface du globe. Ainsi *l'évaporation moyenne & annuelle qui a lieu sur les mers, les lacs, les étangs, les marais, les fleuves & les rivières, sur toute la surface du globe, doit être présumée d'environ 36 pouces.*

L'évaporation annuelle suffit amplement pour fournir aux pluies.

43. D'où il est aisé de conclure (40) que *l'évaporation qui a lieu sur les eaux dimissénées sur la superficie du globe, suffit amplement pour fournir aux pluies.*

Voyons à présent quel est le mécanisme dont la providence se sert pour alimenter les sources & les rivières par le moyen des pluies.

Division des eaux pluviales en diverses classes.

44. Parmi les eaux pluviales, les unes s'écoulent superficiellement à mesure qu'elles tombent, & elles se rendent directement & immédiatement aux torrens & aux rivières dont elles forment les crues. C'est ce qui arrive sur-tout par les orages & les *averses;* parce que, dans ce cas, les eaux n'ont pas le tems de filtrer à travers les terres. Les autres, au contraire, & ce sont celles qui résultent des pluies douces ou de la fonte insensible des neiges; les autres, disons-nous, pénètrent insensiblement & s'insinuent dans la terre. Ces dernières doivent être divisées en trois classes.

Les eaux de la première classe sont celles qui, humectant

les terres superficielles, sont enlevées de nouveau par l'évaporation produite par l'action, soit du vent, soit du soleil; on le voit évidemment dans les campagnes. Peu après une pluie, la couche de terre de la superficie est tout-à-fait sèche, tandis que les couches inférieures conservent leur humidité.

Les eaux de la seconde classe sont celles qui sont employées à la végétation de toutes les plantes.

Enfin, les eaux de la troisième classe sont celles qui après avoir plus ou moins filtré dans l'intérieur de la terre, reviennent à la surface & forment les sources & les fontaines. Nous allons voir de quelle manière elles remplissent cet objet.

Comment les eaux pluviales forment les sources.

45. Les fondrières des montagnes, en nous présentant des flancs tout-à-fait dégradés & presque taillés à pic, nous découvrent une infinité de couches de différentes matières, telles que de pierre, d'argile, &c. Ces couches sont ordinairement parallèles entr'elles : rarement elles sont horizontales ou de niveau, & presque toujours elles sont plus ou moins inclinées. Or, ce n'est pas-là seulement la contexture des montagnes. Les pays en plaine nous offrent la même conformation intérieure, ainsi qu'on s'en est convaincu par les profondes excavations qui ont été faites en divers endroits.

D'autre part, en parcourant les montagnes dont la superficie a subi des dégradations tant soit peu considérables, nous rencontrons à chaque pas des cavernes plus ou moins grandes; sur le nombre, on en voit plusieurs d'une capacité immense, & dont on n'a jamais pu trouver la fin. Dans presque toutes on remarque des filtrations d'eau qui s'amassent au fond, & y forment des réservoirs; d'où l'on peut conclure qu'il y en a une infinité d'occultes, & qui néanmoins ont les mêmes propriétés que celles qui sont accessibles.

Cela posé, si les eaux pluviales de la troisième classe (44),

après avoir plus ou moins filtré, rencontrent une couche imperméable, telle, par exemple, qu'une couche d'argile, de pierres ſans gerçures, &c.; elles ſuivront cette couche dans le ſens de ſa pente, juſqu'à ce qu'elles arrivent à la ſurface du terrein où elles paroîtront en plus ou moins grande quantité, ſuivant l'étendue de la ſuperficie dont les eaux, ainſi filtrées, auront été interceptées par cette même couche. Ces exemples ſont très-fréquens dans les montagnes à fondrières où l'on peut s'aſſurer du fait à chaque pas.

Si cette couche, qui intercepte les eaux filtrées aboutit à une caverne, les eaux s'y amaſſeront au fond, & parvenues à un certain point d'élévation, elles ſe feront jour par la charge ou preſſion, & s'évacueront en ſuivant quelque autre couche d'argile ou de rocher. C'eſt de-là que nous viennent les ſources tant ſoit peu abondantes.

Preuve qui conſtate que les ſources proviennent des eaux pluviales.

46. L'obſervation ſuivante prouve d'une manière bien ſenſible, que c'eſt aux eaux pluviales de la troiſième claſſe (44) que nous devons les ſources dont nous venons de parler. Ces ſources augmentent toujours après les pluies longues & douces, & leur augmentation eſt d'autant plus grande, que ces pluies durent plus long-tems; au contraire, elles diminuent par un tems de ſéchereſſe; quelquefois même elles tariſſent, lorſque la ſéchereſſe eſt fort longue. Donc, puiſque les variations des ſources ſont conſtamment proportionnelles à celles des pluies, il eſt viſible, par ce rapport, que les ſources proviennent des eaux pluviales, ainſi que nous l'avons dit (45).

47. Nous avons dit (45), que les cavernes nous donnoient les ſources tant ſoit peu conſidérables; en effet, on ſent au premier abord, qu'une caverne doit couper un grand nombre de couches, & ſur une étendue proportionnelle à ſa capacité. Elle recevra donc une quantité d'eau d'autant plus grande à proportion. Il peut même arriver qu'elle intercepte les écoule-

mens d'autres cavernes; ce qui augmentera d'autant plus le volume de ses eaux.

48. Comme une rivière reçoit dans son lit un plus ou moins grand nombre de torrens & de rivières, suivant la longueur de son cours, & que son volume d'eau se grossit à proportion par les eaux de tous ces affluens ; de même aussi, un écoulement souterrain peut en recevoir plusieurs autres sur sa route intérieure, & former ainsi, suivant les circonstances, une source plus ou moins volumineuse. C'est ainsi, sans doute, que se forme entr'autres la fameuse fontaine de Vaucluse, en ramassant sur sa route une partie des eaux de la chaîne de montagnes du *Léberon*.

Comment se forment les grandes sources telles que celle de Vaucluse.

49. Il peut arriver que la couche conductrice aboutisse au-dessous du niveau des eaux de la mer. Dans ce cas, l'évacuation se fait immédiatement dans le sein même de la mer, & alors elle est invisible.

Les sources des pays de plaine se perdent souvent au-dessous du niveau des eaux de la mer.

C'est ce qui doit arriver, sur-tout, aux eaux pluviales des pays en plaine. Dans ces pays, les eaux pluviales de la troisième classe (44), sont beaucoup plus abondantes que dans les pays de montagnes, dont la déclivité s'oppose à la filtration. Il devroit donc y avoir plus de sources dans les pays de plaine que dans ceux de montagnes, & cependant c'est le contraire; par conséquent, ces eaux ne peuvent s'évacuer en grande partie qu'au-dessous du niveau de la mer.

50. Mariotte avoit comparé la dépense d'eau de la Seine, prise à Paris, avec la quantité d'eau pluviale qui tombe sur les pays qui fournissent tant à cette rivière qu'à ses affluens. Des auteurs italiens ont fait la même comparaison entre la dépense du Pô, en Lombardie, & les eaux pluviales des pays qui alimentent ce fleuve & les rivières qu'il reçoit. Les uns & les autres se sont convaincus par les résultats de leur comparaison que l'origine des fontaines & des rivières n'est due qu'aux eaux pluviales, ainsi que nous l'avons démontré.

Conclusion de la discussion sur l'origine des sources.

51. Nous pourrions entrer ici dans un grand nombre de détails aussi curieux qu'intéressans : car on sent que le champ est fort vaste. Mais nous ne nous sommes proposés que de faire connoître l'origine & la cause des sources & des rivières. Nous croyons avoir rempli cette tâche, par ce que nous venons de dire à cet égard, ainsi nous ne pousserons pas plus loin ce sujet.

Nous concluerons seulement, en terminant ce paragraphe, que, d'après tout ce que nous avons dit sur cet objet:

1°. Les eaux des sources se rendant aux torrens & aux rivières, comme aux endroits les plus bas, alimentent ces torrens & ces rivières dans leur état habituel.

2°. Les eaux des sources devenant plus ou moins abondantes suivant les pluies ou la sécheresse(46), les torrens & les rivières participent à cette augmentation ou à cette diminution.

3°. Les eaux pluviales qui s'écoulent sur la surface de la terre sans aucune espèce de filtration, sont celles qui occasionnent les crues des torrens & des rivières, ainsi qu'il a été dit (44). C'est dans ce dernier état que ces courans sont pernicieux, & qu'ils méritent de fixer notre attention pour en prévenir les ravages.

§. III.

Observations générales sur les Torrens & les Rivières.

52. Nous avons dit (8) que l'expérience journalière prouvoit que les eaux pluviales étoient la principale cause de la division des masses totales primitives (9) en une infinité de montagnes partielles ; nous exposerons, dans les sections suivantes, les loix d'après lesquelles cette cause a agi. Mais, en attendant, il convient d'entrer ici dans quelques détails préliminaires à ce sujet.

Les masses de montagnes sont sillonnées de vallées de divers ordres.

53. Si l'on jette les yeux sur un pays montueux, on verra 1°. que les montagnes n'ont pas de penchans unis & continus, &, qu'outre les fondrières & les précipices dont nous avons parlé (13), ces penchans sont sillonnés en général d'une infinité de bas-fonds & de ravins où les eaux pluviales se rendent comme aux endroits les plus bas, & par où elles s'écoulent; 2°. que tous ces ravins se réunissent ensuite successivement dans des vallons qui se forment au bas des montagnes & qui séparent ces mêmes montagnes les unes d'avec les autres; 3°. Enfin que ces vallons se réunissent, de la même manière, dans des vallées encore plus basses & qui séparent non seulement les montagnes, mais encore les chaînes des montagnes & leurs ramifications.

Ces vallées ont été formées par les eaux pluviales.

54. Tous ces déchiremens des masses primitives ont été produits par les eaux pluviales, ainsi qu'on va voir.

Supposons qu'un orage soit tombé sur une des masses primitives : les eaux de cet orage étant trop abondantes pour être absorbées par la terre à mesure qu'elles tomboient, une partie aura commencé à s'écouler sur le penchant, comme sur un plan incliné le long duquel sa vîtesse se sera continuellement accélérée. D'autre part, son volume, en descendant, se sera aussi continuellement accrû. La force augmentant donc, à chaque instant, par l'augmentation du volume & de la vîtesse, cette partie des eaux non absorbées aura agi sur le penchant, & aura commencé à le sillonner de ravins dont la position & la direction auront été relatives aux circonstances & aux localités.

Le cours des eaux superficielles augmentant, ces ravins partiels se seront réunis successivement, & le volume d'eau qu'ils auront fourni s'augmentant ainsi continuellement, aura creusé un ravin commun du second ordre, beaucoup plus considérable que les ravins partiels & primitifs ou du premier ordre.

Les ravins du second ordre venant pareillement à se réunir entr'eux, auront formé des ravins d'un ordre supérieur dont le

volume d'eau & les dimenſions auront été d'autant plus conſidérables, qu'ils s'éloignoient davantage du point culminant de la maſſe primitive.

Que dans la ſuite il ſoit ſurvenu d'autres orages, le lit de tous ces ravins ſe ſera toujours plus agrandi & plus approfondi, juſqu'à ce qu'il ait pu prendre un degré de pente relatif au volume d'eau, à l'éloignement de la mer & à la hauteur de la maſſe ſillonnée.

On ſent, au premier abord, que ces ravins de tous les ordres devenant toujours plus profonds, & les terres des maſſes primitives étant continuellement emportées par ces eaux d'orage, ces mêmes maſſes auront dû ſe partager en une infinité de montagnes partielles, telles que celles qui forment le grouppe des Alpes, des Pyrénées, des Cordillières, &c.

On ſent auſſi facilement que tous ces ravins de différens ordres ont dû produire pareillement des vallées plus ou moins grandes & plus ou moins étendues proportionnellement au volume des eaux qu'ils recevoient; vallées qu'on doit auſſi, par la même raiſon, diſtinguer par ordres.

On ſent enfin que toutes ces vallées devant être néceſſairement ſéparées entr'elles par des chaînes de montagnes, il en eſt réſulté que les grouppes ſe ſont partagés en une infinité de ramifications plus ou moins étendues, ſuivant les lieux & les circonſtances.

La raiſon nous dit aſſez que telle a été, ſans contredit, l'origine de toutes les vallées qui ſillonnent les continens & les iſles.

Plus un pays eſt montueux, plus on y trouve des ſources.

55. Nous avons remarqué (45) que les montagnes étoient compoſées de couches de diverſes matières; d'où l'on doit conclure que telle étoit auſſi la contexture intérieure des maſſes primitives ſupérieures au niveau de la mer. Ces couches des maſſes primitives ont donc été coupées & interrompues par la formation des vallées. Et puiſque, d'après ce nous avons dit au

même n. 45, ces mêmes couches sont les conducteurs des eaux de source ; il s'ensuit que ces eaux sont aujourd'hui interceptées en très-grande partie par les vallées où elles doivent nécessairement se rendre comme aux endroits les plus bas, ainsi qu'il a déja été dit (51 1°.); & c'est la raison pour laquelle plus un pays est montueux, plus on trouve de sources.

56. Les eaux de ces sources tombent d'abord dans les ravins & les fondrières, dont les torrens & les avalanches ont sillonné nos montagnes. C'est par cette voie qu'elles se rendent ensuite aux vallées des ordres supérieurs, pour former & alimenter les fleuves & les rivières dans leur état ordinaire.

La réunion des eaux des sources forme les fleuves & les rivières.

57. Nous avons observé (46), que le volume des sources varioit suivant les tems ; qu'il augmentoit par une pluie longue & douce, & qu'il diminuoit par la sécheresse. D'où il suit que les rivières doivent éprouver les mêmes vicissitudes dans les mêmes circonstances ; c'est-à-dire, qu'abstraction faite des eaux pluviales qui s'écoulent sur la superficie de la terre, sans filtrer dans l'intérieur, leur volume augmentera par une pluie longue & douce, & qu'il diminuera par la sécheresse ; ce qui est conforme à l'expérience journalière.

Le volume d'eau des rivières augmente par les pluies, & diminue par la sécheresse.

58. Les eaux de source provenant des eaux pluviales, & étant, en général, assez uniformément interceptées par les vallées, on peut dire qu'assez ordinairement le volume réuni de ces eaux, doit être à-peu-près en proportion avec la superficie qui les fournit, toutes choses d'ailleurs supposées égales. Donc, puisque (56) ce sont ces eaux qui forment les rivières dans leur état ordinaire, l'on peut dire que le *volume des eaux de deux rivières qui prennent leurs sources dans des pays de montagnes, est à-peu-près proportionnel à la superficie du terrein qui les alimente.*

Rapport des volumes d'eau de deux rivières.

La même comparaison aura pareillement lieu entre les volumes ordinaires d'eau de deux rivières en pays de plaine, puisqu'elles sont aussi formées par les eaux de sources. Mais on

ne pourroit pas établir une pareille comparaiſon entre deux rivières, dont l'une ſeroit en pays de plaine, & l'autre en pays de montagnes; car nous avons vu (55) que plus un pays eſt montueux, plus il y a de ſources.

Utilité de ce rapport dans le génie civil & militaire.

59. Ce que nous venons de dire (58), peut être très-utile pour l'organiſation de pluſieurs projets, ſur-tout relativement à la navigation & à la flottaiſon des rivières, ainſi qu'à la dérivation des canaux d'arroſage, où l'on a eſſentiellement beſoin de connoître, du moins à-peu-près, le volume d'eau ordinaire des rivières ſur leſquelles on a à opérer. En effet, ſi l'on connoiſſoit le volume d'eau ordinaire d'une rivière, & la ſuperficie du terrein qui le fournit, il eſt viſible que par le moyen d'une carte bien exacte, on pourroit, avant de ſe porter ſur les lieux, déterminer, à quelque choſe près, par comparaiſon, celui de la rivière dont il s'agit.

La même choſe peut auſſi être très-avantageuſe dans beaucoup de circonſtances, pour les opérations militaires en pays ennemi; car, pour tenter, par exemple, le paſſage d'une rivière, il importe beaucoup de connoître, entr'autres choſes, la maſſe ordinaire de ſes eaux.

Dans l'un & l'autre cas, la choſe mérite d'être priſe en conſidération avec d'autant plus de raiſon, que les Adminiſtrations pourroient, en quelque façon, juger, ſoit des projets, ſoit des opérations qui s'y rapportent, ſans ſe tranſporter ſur les lieux; & que, pour cela, une carte bien exacte & amplement détaillée leur ſuffiroit.

60. Du n. 58 il ſuit que le volume ordinaire des eaux d'une rivière, augmente ou diminue d'autant plus qu'on s'éloigne ou qu'on s'approche davantage de ſon origine,

Car 1°. plus on s'éloigne de ſon origine, plus l'étendue du terrein dont les ſources l'alimentent devient conſidérable, & par conſéquent toutes choſes d'ailleurs égales, plus il y aura de ſources qui ſe rendront dans ſon lit.

2°. Au contraire, plus on remontera vers ſon origine, plus cette étendue de terrein diminuera : il en ſera de même du nombre des ſources qui l'alimentent.

Les troubles des rivières indiquent une augmentation dans le volume de leurs eaux.

61. Les rivières, priſes dans leur état ordinaire, ont toujours leurs eaux claires & limpides, puiſque les eaux de ſources ſont conſtamment telles ; ſi les eaux ſe troublent, on doit conclure qu'elles ne ſont pas toutes des eaux des ſources nourricières, & qu'il y en a d'étrangères qui s'y ſont mêlées & y ont tranſporté des matières hétérogènes & terreſtres ; à moins que quelque cauſe particulière, telle, par exemple, que le vent, n'y eût porté du ſable & du limon, des bords ou des environs, ce qui pourroit produire le même effet, ſans aucun mélange d'eaux étrangères. Par conſéquent, ce cas excepté, on peut conclure que *toutes les fois que les eaux d'une rivière ſont troubles, elles ne ſont plus dans leur état ordinaire, & que leur volume eſt augmenté.*

D'où proviennent les troubles des rivières.

62. Les troubles, dans les rivières, proviennent ordinairement de l'adjonction des eaux pluviales qui, par un orage ou une averſe, s'écoulent ſuperficiellement, ſans filtrer dans la terre. Ces eaux, dans leur cours, ſur le penchant des terreins en pente, ſe chargent de matières terreſtres, qu'elles tiennent en diſſolution & qu'elles tranſportent, par la voie des torrens, dans les rivières, dont elles troublent alors la limpidité. Ce ſont ces eaux qui, comme nous l'avons déjà dit (44 & 51. 3°.), occaſionnent les crues ; ainſi, *les crues ne ſont autre choſe que l'augmentation du volume des eaux d'un torrent ou d'une rivière, produite par les eaux pluviales qui s'écoulent ſuperficiellement & ſans filtration.*

Loi des crues des rivières par une pluie générale.

63. *Si une pluie eſt générale, la crue d'eau ſera d'autant plus forte, & la durée d'autant plus longue, que le pays d'où les eaux viennent ſera plus étendu, toutes choſes d'ailleurs égales.*

1°. Les eaux pluviales qui forment la crue, partent de tous les points de la ſurface qui fournit. Donc en regardant chacun de ces points, comme une ſource extrêmement petite, dont les

eaux se rendent au torrent ou à la rivière, il y aura d'autant plus de sources nourricières, que la surface qui fournit sera plus étendue. Donc (58) plus cette surface sera étendue, plus elle fournira; & par conséquent plus la crue sera forte.

2°. La crue n'étant autre chose que l'écoulement des eaux qui la forment, sa durée se mesurera par celle de cet écoulement. Elle ne finira donc qu'à l'arrivée des eaux pluviales qui sont tombées vers la source du torrent ou de la rivière, & aux points les plus éloignés de celui qu'on prend, sur la longueur du cours, pour terme de comparaison: car il est visible que la pluie finie, ces eaux arriveront les dernières. Or, elles arriveront d'autant plus tard, qu'elles viendront de plus loin, ou que le pays dont il s'agit sera plus étendu.

Au surplus, nous avons supposé que tout, d'ailleurs, étoit égal, c'est-à-dire que le pays étoit uniformément montueux, les montagnes uniformément ardues, uniformément couvertes de bois, &c.; car on sent bien que toutes ces variétés doivent influer sur les crues; mais comme la chose n'a jamais exactement lieu, & que les localités sont variées à l'infini, il s'en suit qu'on ne doit regarder cette démonstration que comne approximative, & non comme rigoureuse ni géométrique. Cependant, elle suffit pour notre objet; car, dans cette partie, on ne peut atteindre qu'à des à-peu-près, ainsi qu'on doit le sentir.

Conditions pour le *maximum* des crues.

64. *La crue d'eau, par une pluie générale, sera la plus forte, dont le torrent soit susceptible, lorsque les eaux des points les plus éloignés arriveront au point de comparaison pris sur le cours du torrent ou de la rivière, avant la fin de l'écoulement des eaux des points les plus proches.*

La chose est évidente, puisque, dans ce cas, les eaux de tous les points de la superficie qui fournit, passeront en même-tems au terme de comparaison.

65. Il suit de-là, que *si les eaux les plus éloignées n'arrivent*

qu'après l'entier écoulement des plus proches, la crue ne parviendra pas au MAXIMUM. La chose arrivera lorsque la pluie ne durera pas assez long-tems pour donner aux eaux, les plus éloignées, le tems d'arriver avant la fin de l'écoulement des eaux les plus proches.

66. Par conséquent, *pour la crue la plus forte possible, la pluie doit être d'autant plus longue, que le pays arrosé par la rivière sera plus étendu.*

67. *La fonte de la neige, par un vent chaud, équivaut à une pluie générale.* La chose est évidente. On peut même ajouter qu'une pareille fonte étant uniforme, doit donner plus d'exactitude & de précision à la démonstration de la proposition du n. 63.

Les crues seront plus fortes dans les pays de montagnes.

68. *Toutes choses d'ailleurs égales, les crues sont d'autant plus fortes que les pays sont plus montueux :* car, la déclivité facilite l'écoulement superficiel des eaux pluviales, & est un obstacle à la filtration à travers la terre. Donc, plus le pays est montueux, plus le volume d'eau qui s'écoulera superficiellement sera considérable. Donc aussi, plus la crue sera forte.

Elles seront moins fortes dans les pays de plaines.

69. Il suit de cette proposition, *que dans les pays de plaines, les crues des rivières seront moins fortes que dans les pays de montagnes, toutes choses d'ailleurs égales;* car par les raisons inverses du nombre précédent, le terrein ayant peu de déclivité, l'écoulement superficiel des eaux pluviales y sera moindre que dans les pays de montagnes.

Elles seront d'autant plus fortes, que les montagnes seront moins boisées & plus décharnées.

70. *Toutes choses d'ailleurs égales, dans les pays montueux, les crues seront d'autant plus grandes que les montagnes seront moins boisées & plus décharnées.*

1°. Les arbres & les arbustes interceptent par leurs branches & leurs feuilles, les gouttes d'eau qui tombant ensuite par intervalles, ont le tems de filtrer à travers la terre; par conséquent, cela ne pouvant pas avoir lieu quand les mon-

tagnes ne ſont pas boiſées, il eſt viſible qu'une grande partie de ces eaux doit alors s'écouler ſuperficiellement, & groſſir d'autant les crues.

2°. Plus une montagne eſt nue & décharnée, moins il y a d'eaux qui filtrent pendant les pluies. Donc les eaux qui s'écoulent ſuperficiellement étant plus abondantes, les crues deviennent plus fortes.

Dans ce cas les crues ſeront plus courtes.

71. Il ſuit de-là, que *dans ce cas, les crûes doivent être plus courtes;* car les eaux éprouvant moins de difficultés par la nudité des montagnes, s'écrouleront dans moins de tems.

Dans quel cas la crue n'eſt que partielle.

72. Si la pluie n'eſt pas générale & qu'elle ne tombe que ſur une partie quelconque de la ſuperficie qui alimente le torrent ou la rivière, la crue qui en réſultera ne ſera que partielle. Telle eſt, par exemple, la pluie d'orage : car il eſt inoui qu'un orage dévaſte au-delà d'une certaine étendue.

Conditions pour le *maximum* d'une crue partielle.

73. *La crue réſultante d'une pluie partielle ſera parvenue à ſon* MAXIMUM, *lorſque l'écoulement des eaux les plus éloignées arrivera au terme de comparaiſon avant la fin de l'écoulement des eaux les plus proches;* car, dans ce cas, toutes les parties ſur leſquelles la pluie tombe, fourniront à-la-fois leurs eaux d'écoulement au terme de comparaiſon. Donc ce terme recevra dans ce moment tout ce qu'il peut recevoir.

Les crues d'orage ſont plus fortes que les crues des pluies ordinaires.

74. *Toutes choſes d'ailleurs égales, les crues, par orages, ſont plus fortes que celles par pluies ordinaires;* & cela pour deux raiſons; la première, eſt que les eaux d'orage taſſent la terre, en bouchent les pores, & empêchant par-là la filtration, facilitent l'écoulement ſuperficiel; la ſeconde, eſt que la pluie étant plus forte, produit un plus grand volume d'eau à cet écoulement.

Le volume & la durée de la crue augmenteront en s'éloignant de la ſource.

75. *A partir de l'origine du torrent ou de la rivière, plus on deſcendra, plus la crue augmentera, ainſi que ſa durée.* Cela eſt évident, d'après ce que nous avons dit (63).

76.

76. D'où l'on doit conclure, d'après le même principe, que *la crue diminuera, ainsi que sa durée, à mesure qu'on remontera vers l'origine du torrent ou de la rivière.*

Au contraire ils diminueront en s'en approchant.

77. Les eaux troubles des crues prennent toujours la couleur du terrein de la contrée d'où elles viennent. Par conséquent, si le pays qui alimente une rivière est composé de divers quartiers, où les terres diffèrent de couleur, à l'aspect de la teinte des eaux troubles, on pourra toujours connoître le quartier d'où elles viennent. C'est sur quoi les habitans riverains ne se trompent jamais, lors des crues produites par des orages ou par des pluies partielles.

La couleur des troubles fait connoître le pays d'où ils viennent.

78. L'on voit, par tout ce que nous venons de dire, que les élémens qui entrent dans la formation des crues, sont beaucoup plus multipliés & plus variés que ceux qui se rapportent aux sources; c'est-à-dire, à la cause qui alimente les rivières dans leur état ordinaire : aussi seroit-il impossible, par le moyen de la carte la plus exacte, de juger du volume d'eau dans les crues, comme nous avons dit (59) qu'on pouvoit juger de celui des eaux ordinaires.

79. *L'écoulement des eaux superficielles ne cesse pas avec la pluie.* Car ces eaux imbibent plus ou moins les terres de la superficie qui, semblables à des éponges, les rendent ensuite peu-à-peu, & par-là font continuer l'écoulement superficiel pendant quelques jours après la pluie. C'est un fait que nous avons remarqué constamment, & dont tout le monde peut s'assurer.

L'écoulement des eaux superficielles ne cesse pas avec la pluie.

80. Il arrive de-là, que les crues ne cessent pas avec l'écoulement des eaux pendant la pluie. Ces crues continuent avec les écoulemens *secondaires* & superficiels (79), & diminuent avec eux. Pendant le tems de la diminution, les eaux se clarifient peu-à-peu, jusqu'à ce que le torrent ou la rivière ne reçoive plus que les eaux de source.

Conséquence qui en résulte.

81. Ainsi la grande crue & les troubles qui l'accompagnent, ne durent que jusqu'à l'arrivée des dernières eaux superficielles

A quelle époque les troubles diminuent.

qui sont parties des points les plus éloignés, au moment où la pluie ou la fonte des neiges y a cessé. Depuis cet instant, la crue décroît en s'alimentant d'eaux, pour ainsi dire, à demi-filtrées (79), lesquelles se clarifiant peu-à-peu, produisent une diminution continuelle dans les troubles.

Loi des écoulemens secondaires.

82. Toutes choses d'ailleurs égales, *le volume, & la durée des écoulemens secondaires seront d'autant plus considérables, que la surface du pays qui les forme sera plus étendue.*

En effet, 1°. tous les points de la surface qui fournit, devant alors être considérés comme tout autant de sources extrêmement petites (63 1°.), il est visible que le nombre de ces sources, & par conséquent, le volume habituel d'eau qu'elles fourniront à la rivière, sera proportionnel à cette surface.

2°. Plus la surface du terrein qui fournit sera étendue, plus les eaux les plus éloignées emploieront de tems pour arriver au terme de comparaison.

A quelle époque s'établit l'équilibre entre le fond & l'action des eaux.

83. Pendant tout le tems que la pluie ou l'orage dure, le torrent détache des terres & des pierres, de la montagne où il prend sa source; il charrie pêle-mêle toutes ces matières qui sont alors dans une espèce de liquéfaction. On peut s'en convaincre aisément par les dépôts que les torrens ne laissent que trop souvent dans les plaines. On verra que ces dépôts ne sont qu'un amalgame & un mélange de pierres & de terre.

Mais lorsque ces matières sont arrivées au confluent de quelqu'autre torrent dans la plaine, ou qu'en général le volume d'eau est assez considérable pour les noyer, la violence du mouvement dissout en très-peu de tems la terre qui, se mêlant avec l'eau, forme les troubles. Les pierres manquant alors de cette espèce de ciment, se séparent, & se répandant sur le fond du lit, y forment des couches de gravier.

On sent bien que pendant la durée de la crue principale, ces pierres doivent être en mouvement, tant dans les tor-

rens que dans les rivières, & l'on peut s'en assurer facilement, soit en entrant dans le courant, soit en prêtant attentivement l'oreille. La chose est d'ailleurs naturelle; car la crue n'est qu'un mouvement violent, & une force extraordinaire. Or, toute force extraordinaire rompt l'équilibre préexistant.

Cependant comme tout dans la nature tend à l'équilibre, & comme cet équilibre ne peut se rétablir que par la cessation de la force extraordinaire qui l'avoit détruit, & par une certaine uniformité d'action modérée & d'une certaine durée; comme la crue principale, outre qu'elle n'exerce pas cette uniformité d'action modérée, dure d'ailleurs, en général, assez peu de tems; tandis qu'au contraire, l'écoulement subséquent & secondaire dont nous avons parlé au n. 79, dure pendant quelques jours après la pluie, & qu'enfin, cet écoulement pouvant être assimilé à celui des sources, réunit toutes les conditions d'action modérée & de certaine durée, pour établir l'équilibre; il s'ensuit que ce ne peut-être qu'après la crue principale, & pendant l'écoulement secondaire des eaux pluviales (79), que l'équilibre s'établira entre l'action du courant & la résistance des matières du fond.

84. C'est ce volume d'eau que nous appellerons *volume d'eau d'équilibre;* il se compose, comme l'on voit, de celui des eaux des sources qui alimentent les rivières dans leur état ordinaire, & de celui des écoulemens secondaires (79) des eaux pluviales; par conséquent, il tient le milieu entre le volume d'eau des crues principales & celui de la rivière, prise dans son état naturel & ordinaire. C'est particulièrement de ce volume & de sa durée que dépend la distinction entre un *torrent* & une *rivière*. En effet, le courant sera véritablement une *rivière* à l'endroit où le volume dont nous venons de parler, & sa durée seront assez considérables pour donner une consistance au fond & se mettre en équilibre avec lui. Si, au contraire, cela n'a pas lieu, ce sera un *torrent*. Or

Différence entre les torrens & les rivières.

(60 & 82), plus on s'éloignera de l'origine du courant, plus le volume des eaux augmentera, ainſi que ſa durée; au lieu que plus on s'en approchera, plus ces deux grandeurs diminueront. Donc, *ce ne ſera qu'à une certaine diſtance de la ſource que les torrens deviendront de véritables rivières, dont on pourra connoître les loix.* Il s'agit à préſent de déterminer cette diſtance.

Conditions pour les torrens & pour les rivières.

85. Par la multiplicité des élémens qui entrent dans cette queſtion, on juge bien qu'elle eſt irréſoluble par la théorie. Si l'on conſulte l'expérience, on verra que la propriété dont nous venons de parler (84), & qui différencie le torrent de la rivière, devant produire dans la rivière une pente conſtante, dans un endroit déterminé, & un état ſenſiblement permanent dans le lit, ainſi que nous le verrons plus bas; on verra, diſons-nous, que le torrent ſera preſque toujours *rivière parfaite*, à quelques lieues en aval de ſa ſource. En amont de ce point qui ſert de limite, la rivière ſera *torrent.* Mais comme tout ſe fait par nuances dans la nature, à partir du point de ſéparation, le torrent tiendra d'abord beaucoup de la rivière : enſuite, en remontant, les propriétés communes diminueront toujours de plus en plus, juſqu'à ce qu'on ſoit parvenu aſſez près de la ſource, pour que le torrent ſoit *torrent proprement dit;* c'eſt-à-dire, pour que ſa pente y ſoit irrégulière, & le lit ſujet à pluſieurs révolutions, par la courte durée des crues.

86. On voit, par ce que nous venons de dire (84 & 85), qu'un torrent arrivé dans une vallée peut être remarqué en trois endroits particuliers, ſavoir : 1°. un peu au-deſſous du pied même de la montagne de laquelle il deſcend; 2°. à quelques lieues en aval de cet endroit; & 3°. enfin, dans l'entre-deux. Dans la partie en amont du premier point, le torrent eſt *torrent proprement dit.* Dans la partie en aval du ſecond, le torrent eſt une *rivière proprement dite*; & dans

l'entre-deux ; c'est un torrent qui tient de la nature de la rivière, & que nous appellerons *torrent-rivière.*

87. *Concluons donc de tout ce que nous venons de dire à ce sujet ;* 1°. *que le torrent est une eau qui ne coule en quantité, que pendant les orages ou les grosses pluies, & toujours avec une grande violence, & dont le lit est sujet à beaucoup de variations & d'irrégularités par la courte durée des crues.* Définition du torrent, de la rivière & du torrent-rivière.

2°. Que *la rivière est une eau qui coule dans tout les tems, & dont le volume, après les crues, est assez considérable, & a assez de durée pour donner au lit une pente réglée pour chaque point respectivement, & un état sensiblement permanent.*

3°. Enfin, que *le torrent-rivière est un courant qui tient le milieu entre le torrent & la rivière, & qui, suivant les divers endroits de son cours, participe plus ou moins aux propriétés de l'un & de l'autre.*

88. Il étoit essentiel de définir d'une manière précise le torrent & la rivière : car, en consultant les auteurs hydrauliques, on voit qu'on n'a jamais été d'accord sur cette définition. En effet, les uns prétendent que ce qui différencie le torrent de la rivière, c'est que la rivière doit avoir de l'eau dans tous les tems ; au lieu que le torrent ne doit en avoir que lors des pluies & des orages. Mais il y a beaucoup de torrens qui ont aussi de l'eau dans tous les tems, parce qu'ils reçoivent plusieurs sources dans leur lit, ainsi qu'il a été dit (55). D'autres considèrent comme torrens, toutes les rivières qui ont beaucoup de pente ; dans ce cas il n'y auroit aucune rivière, mais seulement des torrens, dans des pays de montagnes. Cependant plusieurs de ces rivières, telles que la Durance, l'Isère, la Haute-Loire, l'Allier & la Haute-Garonne, prises dans le pays des montagnes, ont assez d'eau pour être flottables, & l'on sent qu'il seroit absurde de les confondre avec les torrens, avec lesquels elles n'ont de commun que la grande vîtesse de leurs eaux ; ce qui ne peut pas être une raison caractéristique.

Ainſi nous le répétons, ce qui caractériſe particulièrement la rivière & la différencie du torrent, eſt (84) que la rivière doit avoir, tout le long de ſon cours, un lit d'une pente déterminée & qui, quoique différente pour chaque point, comme nous le verrons plus bas, ſoit pourtant, conſtamment la même au même endroit; au lieu que dans le torrent, cette pente varie continuellement. Or cette propriété dépend eſſentiellement du volume d'eau & de la durée de ſon action, lorſqu'il ſe met en équilibre avec le fond après les crues; & ce ſont ces conditions qui manquent dans les torrens, tandis qu'elles ſe réuniſſent dans les rivières, ainſi que nous l'avons vu (60 & 82).

Définition du volume des eaux dans les divers états des rivières.

89. D'après tout ce que nous avons dit dans ce paragraphe, on voit que le volume d'eau des rivières eſt ſujet à beaucoup de variations ſuivant le tems & les circonſtances. Pour la parfaite intelligence de ce qui ſuit, il faut donc fixer nos idées & nos dénominations ſur ce volume, dans chaque variation.

1°. Nous avons vu (63 & 76) que la grandeur des crues dépend de la généralité ou de la partialité des pluies, de leur intenſité, de leur durée, de l'étendue du pays ſur lequel elles tombent, de ſa déclivité, de la nudité & du décharnement des lieux. En conſéquence, il paroît que nous devons diſtinguer trois claſſes de crues, ſavoir: *la grande crue*, *la crue moyenne & la petite crue.*

2°. Nous avons pareillement vu (79 & 80) que l'écoulement des eaux des terres de la ſuperficie, continue la crue après la pluie. Comme d'après ce que nous avons dit (83), ce ſont ces eaux d'écoulement ſecondaire qui fixent l'état du lit après les crues, & rétabliſſent l'équilibre entre l'action du courant & la réſiſtance des matières du fond, & que ce rétabliſſement doit particulièrement s'effectuer par leur volume moyen, nous l'appellerons *volume d'équilibre*, ainſi que nous l'avons déjà dit (84).

3°. L'écoulement des eaux dont les terres ſuperficielles s'étoient imbibées pendant la pluie étant fini, la rivière ne ſera

plus alimentée que par les eaux de ſource. Mais (46) le volume des eaux de ſource augmente par les pluies, & diminue par la ſéchereſſe : donc il en ſera de même du volume des eaux des rivières priſes hors des crues, & dans leur état naturel. Or, ces variations dans les ſources, font diſtinguer leurs eaux en *hautes eaux*, *baſſes eaux & eaux moyennes* : par conſéquent on doit faire la même diſtinction dans les eaux des rivières priſes dans leur état naturel & ordinaire.

Définition du lit majeur & du lit mineur.

90. Les torrens & les rivières fort rapides, étendent conſidérablement leur lit, lorſque rien ne s'oppoſe à leur action ſur les bords; ſouvent même ce lit eſt ſi large, qu'il arrive rarement que dans les grandes crues il ſoit couvert par les eaux; & encore moins l'eſt-il dans les crues ordinaires; par conſéquent, on doit y diſtinguer deux lits, ſavoir: celui qu'occupent les eaux ordinaires, & celui qu'occupent ou que peuvent occuper les eaux des grandes crues. Ce dernier eſt donc compoſé du premier & de tout le gravier adjacent, ſur lequel les eaux des grandes crues peuvent ſe porter; c'eſt pour cela que nous le nommerons *lit majeur;* au lieu que le premier ſera appellé *lit mineur.* Ces deux lits ſeront les mêmes lorſqu'il n'y aura point de gravier ſuperflu au lit mineur, ainſi que la choſe a lieu lorſqu'une rivière eſt reſſerrée par des digues, ou par des berges quelconques.

Loi fondamentale ſur l'écoulement des eaux.

Fig. 3ᵉ.

91. *Suppoſons que l'eau en ſortant par l'orifice BC (fig. 3) du baſſin* ACDE *conſtamment entretenu plein, ſoit reçu dans un canal rectangulaire parfaitement poli dans ſon intérieur, & dont la ſection verticale & longitudicale eſt repréſentée par BCFG. Si ſur la verticale AC, comme axe, nous conſtruiſons une parabole ordinaire AM, dont le ſommet ſoit en A & le paramètre = 60 pieds, les ordonnées PM de cette parabole exprimeront la vîteſſe des particules placées ſur leur prolongement HH.*

La choſe eſt démontrée par les principes d'hydraulique. Voyez l'hydrodinamique du C. Boſſut.

Cas où le fond & les côtés du canal sont raboteux.

92. Si le fond & les côtés du canal sont raboteux & hérissés d'inégalités, les particules correspondantes perdront une grande partie de leur vîtesse, & elles ne pourront se mouvoir avec le reste de la masse, sans recouvrer, de la part des particules voisines, une partie de la vîtesse qu'elles auront perdu. La vîtesse de celles-ci diminuera donc aussi, mais moins que celle des premières. Il en sera de même de la vîtesse des particules intérieures suivantes, c'est-à-dire, que cette perte formera une série décroissante quelconque. Or, dans la nature il n'y a point de plan parfaitement poli & exempt de frottement. Donc la loi dont nous venons de parler (91) n'existe pas dans l'état naturel, ou, pour mieux dire, elle est troublée par les obstacles qui s'opposent au mouvement de l'eau.

Cas où la forme du canal s'altèrera par l'action des eaux.

93. Si la force de l'eau qui se meut dans un canal, est assez considérable pour qu'elle puisse continuellement faire équilibre à la résistance du frottement, la vîtesse moyenne de la masse sera uniforme, & l'eau aura par-tout la même profondeur. Mais si cette force est plus grande qu'il ne faut, pour contrebalancer la résistance du frottement, le fluide accélérera son mouvement le long du canal. Dans ce dernier cas, si les parties qui composent le fond & les côtés du canal n'ont qu'un certain degré d'adhésion entr'elles, elles résisteront d'abord à l'action de l'eau, & ensuite elles seront entraînées, lorsque, par l'accélération, le fluide aura augmenté sa force. Alors la figure du canal cessera d'être la même qu'auparavant, & elle se changera en une autre relative à l'équilibre.

Appliquons tout cela aux Rivières.

Application au cours des rivières, suivant la théorie. Fig. 4e.

94. Soient AB (fig. 4) un plan incliné représentant le lit d'une rivière, & CD la superficie des eaux. Prenons la tranche élémentaire verticale & transversale FfgG, & sur FG construisons la parabole FEH, dont le paramètre = 60 pieds, en faisant abstraction

abſtraction de tout autre mouvement & de toute réſiſtance quelconque, les ordonnées de cette courbe exprimeroient (91) la vîteſſe des particules correſpondantes de cette tranche élémentaire; mais en conſidérant cette tranche comme ſe mouvant parallèlement à elle-même, le long du plan incliné AB, chacune de ces parties acquiert un nouveau degré de vîteſſe particulière par l'accélération. Sur la verticale CP conſtruiſons la même parabole AM; l'ordonnée PM exprimera la vîteſſe que la tranche élémentaire aura acquiſe au point correſpondant G, & cette vîteſſe ſera commune à toutes les particules compriſes ſur la profondeur GF. Par conſéquent, portant MP de G en Q, & conſtruiſant le rectangle GN, dans le cas où aucun obſtacle n'altèrera la loi du mouvement, on aura *la vîteſſe de chaque point de la tranche élémentaire FfgG arrivée en G, qui ſera exprimée par les élémens correſpondans du trapèze mixtilique NFEQ, compoſé du rectangle GN & de l'aire parabolique GFE.*

95. Il ſuit de-là, que toutes choſes d'ailleurs égales, *plus le cours du lit AB ſeroit long, plus la vîteſſe des eaux ſeroit conſidérable;* puiſque, dans ce cas, les élémens du rectangle GN deviendroient toujours plus grands, tandis que la parabole GFE ſeroit conſtante. Conſéquences qui en réſulteroient.

96. Il ſuit encore que *les eaux inférieures auroient plus de vîteſſe que les eaux ſupérieures.* Car il eſt viſible que les élémens inférieurs du trapèze mixtilique NFEQ, feront plus grands que les élémens ſupérieurs.

97. Mais dans l'état naturel il s'en faut bien que les choſes ſoient ainſi. En effet: Cette application eſt inadmiſſible dans la pratique.

1°. Le fond du lit des rivières eſt toujours compoſé d'une infinité d'obſtacles & d'inégalités, qui diminuent conſtamment l'effet de l'accélération. A ces obſtacles ſe joignent ſur-tout des gouffres avec contre-pente, que la loi de l'équilibre néceſſite par intervalles, ainſi que nous le verrons plus bas. Ces deux cauſes réunies, détruiſent continuellement par intervalles la

vîteſſe acquiſe, qui, ſans cela, deviendroit prodigieuſe, & convertiroit nos rivières en courans terribles auxquels rien ne pourroit réſiſter.

2°. La vîteſſe des eaux inférieures, même dans les rivières qui réuniſſent une grande pente à un grand volume d'eau, ne ſuit pas, à beaucoup près, la loi des ordonnées à la parabole FEH; car, outre la réſiſtance du fond dont nous venons de parler, & qui (92) ſe fait ſentir de proche en proche juſqu'à la ſuperficie du courant, les ſinuoſités multipliées des rivières, & la réſiſtance des eaux antérieures ou d'aval, qui arrêtent ou retardent les eaux poſtérieures ou d'amont, détruiſent une grande partie de cette vîteſſe.

L'expérience nous prouve inconteſtablement la diminution de la vîteſſe réſultante de la preſſion des eaux ſupérieures ſur les eaux inférieures. Qu'on prenne, par exemple, la Durance dans la partie de ſon cours correſpondante à Orgon : ſa pente y eſt d'environ 14 pouces ſur 100 toiſes de longueur, & dans le tems des baſſes eaux, elle a environ 3 pieds de profondeur aux endroits où les habitans du pays la paſſent à gué. En ne prenant l'ordonnée de la parabole FEH qu'à 2 pieds de profondeur, on trouveroit, à très-peu de choſe près, 11 pieds pour la vîteſſe correſpondante, ou pour l'eſpace parcouru dans une ſeconde; & cela, en faiſant abſtraction de la vîteſſe d'accélération GQ, que nous ſuppoſons nulle. Evaluons, ſous cette vîteſſe, la force d'impulſion ſur un pied carré, en conſidérant le fluide comme indéfini Par le n. 41 de notre traité *ſur la conſtruction la plus avantageuſe des machines hydrauliques*, nous aurons cette impulſio = 141 livres, à très-peu de choſe près; par où il eſt aiſé de juger que dans ce cas l'homme le plus fort ſeroit entraîné par le courant. Donc, puiſque cela n'arrive pas, il ſuit que cette vîteſſe n'eſt pas telle, à beaucoup près.

Un ſecond exemple vient à l'appui de ce que nous diſons. Nous avons été très-ſouvent témoins du refus que faiſoient les

patrons des bacs ſur la Durance, de paſſer cette rivière dans les crues, juſqu'à un certain tems après l'arrivée des eaux dans le Rhône, prétendant qu'alors la vîteſſe du courant étoit conſidérablement moindre; ce qui prouve que le Rhône, par la réſiſtance qu'il oppoſe à la réception de la Durance, détruiſant une partie de la vîteſſe des eaux de cette rivière, cette deſtruction & le retardement qui en eſt la ſuite, ſe communiquent de proche en proche aux eaux affluentes particulièrement, juſqu'à une très-grande diſtance en amont.

Servons-nous enfin d'un autre exemple pour nous convaincre de la réſiſtance des eaux antérieures ſur les eaux poſtérieures ou d'amont. Suppoſons pour cela, que le lit d'une rivière fut coupé, dans ſon cours, par un déverſoir ou par une barre de rocher, qui y produisît une caſcade de pluſieurs pieds de hauteur, ainſi que la choſe a lieu en un-très grand nombre d'endroits : il eſt certain qu'à l'endroit de la chûte, la loi des ordonnées de la parabole FEH n'éprouvant d'autre obſtacle que celui de la gravité des filets ſupérieurs qui, ayant moins de vîteſſe que les inférieurs, pourront un peu gêner leur mouvement, cette loi ne ſera altérée que d'une manière inſenſible. Or, on remarque conſtamment, que dans ces endroits, la profondeur FG eſt beaucoup moindre que dans ceux où, ſous la même largeur, il n'y a point de chûte, quoique le volume d'eau ſoit par-tout le même. Donc, toutes choſes d'ailleurs égales, la ſection du courant étant plus grande aux endroits où il n'y a point de chûte, il faut néceſſairement que la vîteſſe y ſoit moindre, & que cette diminution y ſoit produite par la réſiſtance des eaux antérieures ou d'aval, puiſqu'il n'y a que cette cauſe qui puiſſe la produire.

98. L'on voit, par ce que nous venons de dire, qu'un traité ſur les rivières, uniquement fondé ſur la théorie & qui ne ſeroit pas modifié convenablement par l'expérience, ne donneroit que les loix de rivières idéales & qui non-ſeulement n'ont ja-

mais exiſté, mais même ne peuvent pas exiſter dans la nature. Comme néanmoins cet objet eſt de la plus haute importance pour la ſociété, examinons-le ſous tous ſes rapports, & tâchons de découvrir les vrais principes ſur leſquels nous puiſſions établir la théorie qui lui eſt propre. Pour cela revenons à la figure 4[e].

Impoſſibilité de découvrir la loi exacte du mouvement des eaux des torrens & des rivières.

99. En ſuppoſant l'équilibre entre la réſiſtance du fond & l'action des eaux, on peut aſſurer que dans le rectangle GN, GQ étant la vîteſſe acquiſe de toutes les particules compriſes dans GF, ſera nulle pour la particule G qui agit immédiatement ſur le fond. Par conſéquent (92), cette deſtruction de vîteſſe ſe fera ſentir de proche en proche juſqu'à la particule F de la ſuperficie. Mais quelle eſt la loi que ſuivront toutes ces diminutions de vîteſſe? quel ſera l'ordre de la ligne qui l'exprimera? ſera-ce une ligne droite ou une ligne d'un ordre ſupérieur? Dans le cas même où ce ſeroit une ligne droite, quelle ſera ſon équation? On ſent au premier abord, que ſi une pareille découverte n'eſt pas impoſſible, elle eſt du moins très-difficile, & que probablement la choſe ſera encore long-tems inconnue par les variations à l'infini qu'eſſuie la cauſe productrice.

D'un autre côté, la même réſiſtance du fond agit ſur les diverſes vîteſſes exprimées par les ordonnées de la parabole FEH, c'eſt-à-dire que dans la ſuppoſition de l'équilibre, & toutes choſes d'ailleurs égales, GE ſera détruite & que cette deſtruction ſe fera pareillement ſentir (92) de proche en proche juſqu'à la ſuperficie. Mais l'on ſent en même-tems que la loi d'après laquelle cette diminution s'opérera dans les élémens de la parabole FEH eſt auſſi difficile à trouver que pour les élémens du rectangle GN.

Si l'on ajoute à cela la réſiſtance que les tranches élémentaires d'aval oppoſent à celle d'amont (97), réſiſtance qui varie à l'infini ſuivant les localités, on verra ſans peine qu'une décou-

verte pareille est impoſſible, & que ce feroit perdre ſon tems que de s'en occuper.

100. L'on voit par-là qu'il eſt impoſſible d'exprimer exactement par une équation, la loi d'après laquelle les eaux des torrens & des rivières ſe meuvent, même en ſuppoſant que le lit fût parfaitement de niveau & les eaux de même profondeur d'un bord à l'autre : à plus forte raiſon, ſi l'on ſuppoſe qu'il y a des inégalités qui préſentent plus d'obſtacles dans certains endroits que dans d'autres, il faut donc ſe borner à des *à-peu-près*, en ſe conciliant d'ailleurs, autant qu'il ſera poſſible, tant avec les principes généralement reçus, qu'avec les obſervations & l'expérience. En conſéquence nous allons examiner le même ſujet ſous d'autres points de vue.

Sur cela il faut ſe borner à des approximations.

101. Quelles que ſoient les inégalités du lit d'une rivière priſe d'un bord à l'autre, ainſi que les diverſes vîteſſes qui animent chaque filet, il eſt certain qu'il exiſte une vîteſſe moyenne dont le caractère diſtinctif eſt que, ſi elle étoit la même pour tous les filets, la dépenſe d'eau de la rivière ſeroit la même. La choſe eſt évidente.

Moyen de trouver cette approximation.

Il n'eſt pas moins certain, & l'expérience le prouve amplement, que, toutes choſes d'ailleurs égales, la pente du lit produit toujours ſur les eaux une accélération plus ou moins grande qui affecte à-peu-près également tous les filets, puiſqu'ils ſont cenſés avoir tous la même pente ou à-peu-près.

Par conſéquent, en regardant tous les filets comme animés d'une même vîteſſe égale à la vîteſſe moyenne, on peut ſenſiblement regarder cette vîteſſe comme produite par l'accélération occaſionnée par la pente du lit.

Cela poſé, ſi le lit pouvoit être regardé comme un plan incliné parfaitement uni, & qui n'opposât aucune eſpèce de réſiſtance, ſoit directe, ſoit indirecte, au mouvement de l'eau, il eſt de fait, qu'à chaque point de ce plan incliné, la vîteſſe dont nous parlons ſeroit exprimée par l'ordonnée correſpon-

dante de la parabole dont l'abſciſſe feroit la pente & le paramètre $=60$ pieds, conformément à la théorie de la chûte des graves. Donc, en ſuppoſant des obſtacles quelconques, puiſque l'effet de ces obſtacles eſt de diminuer proportionnellement l'intenſité de la gravité qui produit l'accélération, la vîteſſe dont il s'agit ſera alors exprimée à tous les points du cours par les ordonnées d'une parabole, dont l'abſciſſe ſera la chûte ou pente correſpondante, & dont le paramètre ſera d'autant moindre que 60 pieds, qu'il ſe trouvera plus d'obſtacles à ſurmonter.

Nommons m, le volume d'eau; v, ſa vîteſſe moyenne; & s ſa ſection, ſuivant la théorie dépouillée de tout obſtacle: v' ſa vîteſſe moyenne, & s' ſa ſection effective par les obſtacles; h ſa pente ſuivant la théorie, & p l'action naturelle de la gravité, ou l'eſpace qu'elle fait parcourir aux graves dans une ſeconde, & qu'on ſait être $=30$ pieds, à très-peu de choſe près.

La depenſe de la rivière étant la même au même endroit, on aura $m=sv$, & $m=s'v'$; par conſéquent $sv=s'v'$, & $v'=\frac{sv}{s'}$. Mais par la théorie de la chûte des corps $v=\sqrt{2ph}$. Donc on aura $v'=\frac{s}{s'}\sqrt{2ph}$, & $v'^2=\frac{s^2}{s'^2}\,2ph$; équation à la parabole dont les ordonnées ſont $=v'$, les abſciſſes $=h$, & le paramètre $=2p\times\frac{s^2}{s'^2}$.

Or, dans l'état de ſimple théorie, on a la parabole dont l'équation eſt $v^2=2ph$, parabole qui ne diffère de celle que nous venons de voir, que par ſon paramètre qui eſt $=\frac{s^2}{s'^2}\times 2ph$.

Donc *la parabole qu'on aura, d'après l'expérience & l'état actuel des choſes, ſera la même que la parabole d'après la théorie, en multipliant ſon paramètre par le quarré du rapport des ſections des courans au même endroit, ſuivant la théorie & ſuivant l'expérience reſpectivement.*

Nous avions déjà démontré cette propriété au n. 24 de notre *Eſſai ſur la conſtruction la plus avantageuſe des machines hydrau-*

liques; mais c'étoit relativement à l'eau qui se meut dans des coursiers, & d'après les expériences faites à ce sujet: nous étions même entrés à cet égard, dans un assez grand détail aux n. 13 = 23, que nos lecteurs feront bien de consulter. On y verra que les expériences doivent être la base des opérations sur la vîtesse des courans; que celles du C. Bossut ne peuvent s'appliquer qu'aux coursiers, même avec des modifications, & aucunement aux rivières; & que sur ce dernier objet les expériences nous manquent totalement: d'où l'on conclura facilement l'insuffisance & la circonscription de l'opération que nous venons de donner.

En effet, pour que cette opération fût générale, il faudroit que le rapport des sections du courant, suivant la théorie & l'expérience respectivement, ou $\frac{s}{s'}$, fût constant. Or, ce rapport varie continuellement, ainsi qu'on peut le conclure de la proportion $v.v'::s':s:$ car, 1°. les vîtesses sont plus ou moins grandes, toutes choses d'ailleurs égales, suivant les masses ou volumes d'eau, ainsi qu'on le voit dans la jonction de deux rivières, dont la vîtesse augmente au-dessous du confluent aux dépens de la section; 2°. elles sont aussi plus ou moins grandes suivant la pente, & nous verrons que cette pente varie à chaque instant dans le lit des rivières.

Ainsi, sous tous ces divers rapports, cette équation ne pourroit servir que dans le cas où tout seroit constant, le volume d'eau & la pente: ce qui n'a jamais lieu dans la nature. Par conséquent elle ne peut que nous laisser entrevoir les résultats par approximation. Nous devons donc renoncer au calcul, & nous borner au raisonnement synthétique appuyé sur l'observation. Quant à l'analyse, elle ne doit être employée que dans l'évaluation des dimensions des moyens destinés à contenir le courant auquel, dans ce cas, on attribuera la vîtesse relative à la théorie, comme étant la plus grande possible.

Comment on doit prendre la section d'une rivière.

102. Pour trouver les sections dont nous venons de parler, & par conséquent leur rapport, on suivra le procédé que nous allons exposer.

1°. On prendra le profil transversal du lit, par le moyen des sondes répétées le plus possible & dont les distances respectives soient connues ; & l'on aura la section effective du courant.

2°. Avec l'instrument de Pitot, dont nous donnerons la description plus bas, on prendra pareillement la vîtesse moyenne des eaux à chaque sonde. En ajoutant toutes ces vîtesses moyennes, & en divisant leur somme par le nombre des sondes, on aura la vîtesse moyenne effective.

3°. En multipliant la section par la vîtesse moyenne, on aura la masse ou volume d'eau qui passera par cette section dans une seconde.

4°. On prendra, avec le niveau, la pente de la rivière, ainsi que nous le dirons dans son tems; & par l'équation $v = \sqrt{2ph}$ ci-dessus (101), on trouvera la vîtesse moyenne qu'auroient eu les eaux au même endroit, suivant la théorie débarrassée de tout obstacle.

5°. Enfin, en divisant la masse ou volume d'eau de la rivière par cette vîtesse, on aura la section qu'eût formé le courant au même endroit, suivant la simple & pure théorie.

Ce procédé est trop simple pour avoir besoin d'explication, & chacun en sentira facilement les raisons.

En quel endroit la vîtesse d'une rivière arrivera à l'uniformité.

103. Supposons, à présent, que par la résistance & la lenteur du mouvement des tranches antérieures (97), l'espace parabolique FGHE soit anéanti, il est visible qu'il restera toujours le rectangle GN, dont les élémens, exprimant les vîtesses acquises par les différentes particules de la tranchée FfgG, en vertu de la chûte ou pente AP, nous font voir que tant que la pente sera réelle & qu'elle ne s'anéantira pas, l'accélération aura constam-

ment

ment lieu. C'est aussi ce que nous prouve (101) l'équation $v' = \frac{5}{7} \times \sqrt{2ph}$: car on y voit que, toutes choses égales d'ailleurs, la vîtesse augmentera par l'augmentation de la hauteur du plan incliné.

Or, il est démontré qu'un corps qui se meut dans un fluide, éprouve, à chaque instant, de la part de ce fluide, une résistance proportionnelle à la superficie de la projection de la partie qui choque le fluide, & au quarré de sa vîtesse; que si ce corps est animé d'un mouvement accéléré, cette résistance s'accroissant continuellement comme le quarré de la vîtesse, il y aura un terme où elle sera assez forte pour détruire, à chaque instant, l'effet de l'accélération; & par conséquent, le corps se mouvra d'un mouvement uniforme avec la vîtesse précédemment acquise.

Donc, par la même raison, lorsque le courant s'approche de la mer, il éprouvera, de sa part, une résistance qui se fait sentir de proche en proche sur les tranches affluentes, jusqu'à une certaine distance, & qui détruisant, à chaque instant, l'effet de l'accélération, ne permettra plus aux eaux de se mouvoir que d'un mouvement uniforme avec la vîtesse précédemment acquise. C'est ce qui est prouvé par l'expérience de tous les fleuves à mesure qu'ils s'approchent de leur embouchure.

Principe fondamental sur la force des courans & la résistance qui la contrarie.

104. En général dans tous les courans possibles, on doit distinguer leur force & la résistance qui la contrarie, la force du courant est le produit de la masse par sa vîtesse réduite, & cette vîtesse est toujours plus ou moins grande suivant la pente. Cette même force exerce son action sur le fond & sur les bords, soit tout-à-la-fois, soit séparément. La résistance du fond peut résulter, 1°. de la grossièreté & de la pesanteur spécifique des matériaux qui le composent. 2°. de la petitesse de la pente qui, suivant les circonstances, peut s'anéantir & même se changer en contre-pente. 3°. Du degré de ténacité des matières qui composent ce fond. Celle des bords dépend, 1°. de leur di-

rection relativement à celle du courant. 2°; de la grosseur & du poids des matériaux qui les composent. 3°; enfin, du degré de tenacité & d'adhésion à ces mêmes matériaux. Si la force du courant est inférieure ou égale à la résistance, tout rentrera dans le même état; mais si elle est plus grande, il y aura du changement dans le fond & dans les bords, le plus fort devant l'emporter sur le foible par la destruction de l'équilibre; & dans ce cas, le courant ne cessera d'agir que lorsque sa force sera devenue moindre par la résistance.

Autres principes fondamentaux.

105. Outre ce principe fondamental, il y en a encore trois qui, ainsi que le précédent, servent de bases à la théorie des torrens & rivières, savoir:

1°. Un courant quelconque tend toujours à suivre la ligne droite selon la direction de son mouvement.

2°. Un courant tend toujours à s'établir à l'endroit le plus bas, ou dans celui où il y a le plus de pente.

3°. Si un courant trouve divers obstacles sur son passage, il établira son cours où il trouvera le moins de résistance.

106. Tous ces principes sont évidents; il ne nous reste plus qu'à en faire l'application. C'est de quoi nous allons nous occuper, en commençant par les torrens.

SECTION II.

Des Torrens.

§. I.

Des Torrens considérés sur les Montagnes où ils se forment.

107. La condition essentiellement requise pour la formation d'un torrent, exige deux choses; savoir:

1°. Que *dans une pluie ou une fonte de neiges, l'eau qui arrose la terre dans un instant quelconque ne puisse pas être entièrement absorbée, pendant cet instant, par la terre qui la reçoit.*

2°. *Que l'eau superflue & qui ne sera pas absorbée par la terre ait la liberté de s'écouler.*

La chose est évidente : car un torrent ne résulte que des eaux superflues qui s'écoulent superficiellement. Il faut donc qu'il y ait des eaux que la terre refuse de recevoir & qu'elles aient la liberté de s'écouler.

108. Il suit de-là que *le torrent se formera d'autant plus aisément & fera d'autant plus de progrès que la pluie ou la fonte des neiges sera plus abondante, que la montagne sera plus ardue, & que les matières qui la composent auront moins de ténacité.* Conséquence qui en résulte.

Car 1°. plus la pluie ou la fonte des neiges sera grande, plus, toutes choses d'ailleurs égales, l'eau superflue sera abondante ; 2°. cette eau s'écoulera d'autant plus aisément, & acquerra d'autant plus de force, que la montagne sera plus ardue ; 3°. enfin, cette même cause creusera un lit sur le penchant de la montagne avec d'autant plus de facilité, que les matières qui composeront la montagne seront moins tenaces.

109. *Si sur le penchant de la montagne il se trouve quelque petit vallon, quelque enfoncement, ou, en général, quelque endroit plus bas que les autres, ce sera en cet endroit que le torrent commencera à se former.* En quel endroit le torrent commencera à se former.

Car (105 2°.) le courant s'établit toujours à l'endroit le plus bas.

110. *Le fond du lit d'un torrent qui descend d'une montagne, doit toujours s'approcher de plus en plus de la verticale.* Le fond du torrent s'approchera toujours plus de la verticale.

En effet, plus le torrent s'éloignera de son origine, plus il aura de force, soit à cause de l'augmentation de vîtesse résultante d'une plus grande chûte, soit à cause de celle du volume de ses eaux qui s'accroît continuellement par l'affluence de celles qu'il ne cesse de recevoir (63). Or, il est impossible, à

caufe de la pente de la montagne, que le lit fe mette jamais en équilibre avec l'action de l'eau, puifque la moindre force fuffiroit pour faire defcendre les matériaux, à moins qu'ils n'euffent une très-grande tenacité. Donc le courant étant conftamment plus fort que la réfiftance du fond, agira toujours de plus en plus fur le lit (104), qui fera par conféquent d'autant plus creufé que l'origine fera plus éloignée, ou que le torrent s'avancera davantage vers la fin de fa chûte, c'eft-à-dire, que le fond du lit s'approchera toujours davantage de la verticale.

Cela eft d'ailleurs confirmé par l'expérience : car on voit toujours que le lit s'enfonce de plus en plus au-deffous du penchant, à mefure qu'il s'approche du pied de la montagne.

Les bords du torrent fe taludetont infenfiblement.

111. *Lorfqu'un torrent creufe fon lit fur le penchant d'une montagne, les bords prennent infenfiblement un talus plus ou moins confidérable, felon la nature des matières qui compofent la montagne.*

Car quand même cet effet n'auroit pas lieu immédiatement après la pluie ou la fonte des neiges, & quand la tenacité des matières s'y oppoferoit, dans la fuite les petites pluies, le gel & dégel, les influences de l'air, & fur-tout la tendance des matériaux à defcendre, leur feront néceffairement prendre le talus convenable.

Les talus du torrent feront fillonnés par des torrens fecondaires.

112. *Les bords d'un torrent pris fur une montagne feront bientôt fillonnés par d'autres torrens.*

Car les bords d'un torrent prenant un talus (111) doivent être confidérés eux-mêmes comme le penchant d'une montagne dont les eaux fuperflues, dans une pluie ou une fonte de neige, fe rendent au torrent, comme à l'endroit le plus bas (105 2°.). D'ailleurs ces mêmes bords ne réfultant que de l'éboulement des terres, doivent avoir, en général, moins de tenacité & fouvent plus de rapidité que le penchant même de la montagne. Donc (108), ils feront bientôt fillonnés par un

grand nombre de torrens ſecondaires, dont les lits reſpectifs ſuivront les mêmes loix que celui du torrent principal (110).

Nous ajouterons à cela, que ces torrens ſecondaires, en creuſant leur lit, faciliteront l'aggrandiſſement de celui du torrent principal dont les bords n'offriront plus que des pointes iſolées & aiſées à détacher, & par-là même ils augmenteront rapidement la largeur de ce même lit, qui ſe convertira dans la ſuite, en une vallée plus ou moins conſidérable. Tout cela eſt conforme à l'expérience, ainſi qu'on peut aiſément s'en aſſurer, par l'inſpection de quelque montagne fort ardue, où, par l'effet des défrichemens ou d'autre cauſe quelconque, il commence à ſe former des torrens.

113. *L'origine du torrent doit continuellement s'approcher du ſommet de la montagne.*

L'origine du torrent s'approchera continuellement du ſommet de la montagne.

Pour s'en convaincre, il n'y a qu'à faire attention que les parties qui compoſent le penchant d'une montagne ſont ſoutenues par celles qui leur ſont inférieures. Mais celles qui répondent à l'origine du torrent ceſſent d'être ſoutenues : donc elles s'ébouleront par les cauſes mentionnées ci-deſſus (111), ou dans les orages & dans les grandes fontes de neige elles ſeront entraînées avec plus de facilité que les autres, & par conſéquent l'origine du torrent doit continuellement monter.

Cela eſt conforme aux obſervations que nous avons faites en divers endroits ſur les progrès des torrens naiſſans, dont nous avons ſuivi le cours.

Le torrent peut diviſer une montagne en pluſieurs parties.

114. L'origine du torrent remontant continuellement, parviendra enfin au ſommet de la montagne; mais pour cela, l'excavation du lit ne ceſſera pas alors d'avoir lieu, puiſque les mêmes cauſes ſubſiſtent toujours. On peut même dire que cette excavation s'effectuera toujours plus rapidement, à cauſe que la ſphère du torrent devient toujours plus grande (111 & 112). Ainſi, quand même il ne ſe formeroit pas de torrent dans la partie poſtérieure & correſpondante de la montagne, on ſent

qu'après un long espace de tems, une montagne peut être partagée en plusieurs parties par les torrens, si rien ne s'y oppose; & que s'il y a des rochers dans l'intérieur, il pourra du moins se former plusieurs pointes séparées les unes des autres par des vallées plus ou moins profondes, selon le tems où les torrens ont commencé, la nature des matières de la montagne, la déclivité de son penchant, &c.

Origine des montagnes partielles.

115. Nous n'avons parlé jusqu'ici que des effets que produisent les torrens sur une seule montagne. Qu'on applique cette théorie aux masses primitives des montagnes dont nous avons parlé plus haut (9), & l'on en déduira facilement tous les effets détaillés au n. 54.

Conjectures sur l'origine des détroits de Constantinople, des Dardanelles & de Gibraltar.

116. Ce que nous avons dit jusqu'à présent nous fournit aussi le moyen d'expliquer pourquoi certaines montagnes sont coupées par des rivières. Que dans l'origine une contrée, par l'effet d'un affaissement ou par toute autre cause, ait été entièrement enfermée par une chaîne de montagnes, les eaux des sources qui sortoient de ces montagnes, & qui par leur volume pouvoient former une rivière, se seront ramassées en cet endroit comme le plus bas (105 2°.) & y auront formé un lac: les eaux de ce lac se seront élevées jusqu'au point le plus bas de la crête des montagnes ambiantes; alors elles seront sorties par cet endroit, & se seront précipitées le long du penchant extérieur qu'elles auront bientôt sillonné par une profonde vallée. S'étant ainsi formé, dans cette chaîne, une solution de continuité (114), les eaux du lac auront baissé progressivement & proportionnellement à l'abaissement de cette partie de la crête, jusqu'à ce qu'enfin le lac ait disparu.

C'est ainsi qu'ont probablement été formés les détroits de Constantinople, des Dardanelles & même celui de Gibraltar. Car, au lieu de supposer, avec certains auteurs, que, dans l'origine, la méditerranée n'étoit qu'un grand lac dont la superficie étoit inférieure à sa superficie actuelle, & qu'un effort

violent de l'océan avoit rompu la barrière qui l'arrêtoit à Gibraltar, il est bien plus naturel de supposer que la superficie de ce lac s'élevoit jusqu'au point le plus bas de la crête de la chaîne de Gibraltar, que les eaux des fleuves & des rivières qui s'y rendoient & qui excédoient celles d'évaporation, s'évacuoient par-là dans l'océan, & qu'insensiblement, ayant coupé cette chaîne par l'effet de leur chûte, la surface de la méditerranée aura baissé par degrés jusqu'à ce qu'elle soit parvenue au niveau de l'océan.

Tott rapporte dans ses mémoires, qu'il a trouvé dans la Crimée, des anneaux de fer scellés dans le rocher, à une assez grande hauteur au-dessus du niveau de la mer, & qu'ayant demandé à quel usage ils servoient, les Tartares lui répondirent, que c'étoit pour amarrer les vaisseaux dans le tems que la mer s'élevoit à cette hauteur. Il ajoute, que les observations multipliées qu'il avoit faites dans la même contrée, sur les dépouilles marines qui s'y rencontrent en divers endroits à une assez grande élévation au-dessus du niveau actuel de la mer, venoient à l'appui de l'assertion des Tartares qui ne parloient que d'après la tradition du pays.

Les lacs traversés par des rivières s'anéantiront tôt ou tard.

117. On doit encore conclure de là, que tous les lacs existans, & qui, situés à une certaine hauteur au-dessus du niveau de la mer, sont traversés par des fleuves, disparoîtront un jour. Tels sont entr'autres, le lac de Genève, en Europe, traversé par le Rhône ; le lac Ontorio, &c. dans l'Amérique septentrionale, traversé par le fleuve Saint-Laurent, &c. En effet, le fond de ces lacs s'exhausse continuellement par les dépôts de sable & de limon que ces fleuves charient, tandis que le rocher sur lequel ces fleuves coulent en sortant des lacs, s'abaisse journellement, quoique insensiblement par la corrosion. Or, lorsque de deux points placés à différentes hauteurs, le plus bas s'élève & le plus haut s'abaisse continuellement, ils arrivent tôt ou tard à la même ligne de ni-

veau. Par conséquent, c'est ce qui ne peut pas manquer d'arriver dans des tems plus ou moins reculés aux lacs dont nous parlons.

Après cette petite digression, qui néanmoins n'est pas tout à fait étrangère au sujet que nous traitons, nous revenons aux torrens.

Particularités des torrens qui descendent des montagnes où il ne reste plus de terre.

118. Il y a des montagnes que les torrens ont déjà dévastées au point qu'il n'y reste plus que le rocher nud, sans aucune espèce de terre végétale, ni d'arbres ou d'arbustes. Dans ce cas, les torrens qui en descendent nous offrent quelques particularités que nous allons exposer.

119. La première de ces particularités est, que *les torrens qui descendent de ces montagnes ont, toutes choses d'ailleurs égales, des crues plus fortes & plus courtes que les autres.*

La chose est évidente, d'après ce que nous avons dit aux n. 70 & 71, auxquels nous renvoyons.

120. La seconde particularité est que, *toutes choses d'ailleurs égales, ces torrens charieront plus de pierres que les autres.* Car quoique ces montagnes soient tout à fait dépouillées de terre & qu'il n'y reste plus que le rocher, il est rare que ce rocher ne se fendille & ne se décompose pas par l'action du sec & de l'humide, du gel & du dégel, &c. Or, il est visible que dans un orage toutes ces pierres ainsi atténuées, seront entraînées par les eaux, & que la partie terreuse n'y entrera presque pour rien, puisque ces montagnes sont supposées en manquer.

La nature des transports des torrens dépend de celle des terreins des montagnes.

121. En général, les matières charriées par les torrens seront, toutes choses égales, plus ou moins mêlées de terre, suivant la qualité du terrein qui couvre les montagnes; c'est-à-dire, que ces matières contiendront plus ou moins de terre, selon que le terrein des montagnes sera moins ou plus pierreux.

Le lit d'un torrent sur le penchant d'une montagne est toujours sinueux.

122. Quoique par le principe du n. 105 1°. *un courant tende toujours à suivre la ligne droite, selon la direction de son mouvement*, cependant la chose n'arrive jamais aux torrens qui descendent

dent des montagnes; au contraire, on remarque que leur lit eſt toujours ſinueux & très-irrégulier; la raiſon en eſt fondée ſur l'inclinaiſon plus ou moins conſidérable des couches de diverſes matières que nous avons dit (45) former l'intérieur des montagnes. En effet, que le courant en creuſant ſon lit, parvienne à une couche de rocher, dont l'inclinaiſon ne ſoit pas exactement dans le ſens de la direction de ſon mouvement, il ſuivra d'abord cette couche, & par conſéquent il s'écartera de ſa direction; mais il ne peut la ſuivre ſans attaquer les bords de ſon lit, qui bientôt le rejetteront pour le porter vers les endroits inférieurs, où il trouvera moins de réſiſtance (105 3°.). Qu'au-deſſous & en aval il rencontre les mêmes obſtacles répétés, il éprouvera les mêmes variations: de ſorte que *le vrai lit d'un torrent ſur le penchant de la montagne où il ſe forme ne peut être que très-ſinueux; ce qui eſt d'ailleurs conforme à l'expérience.*

Ces ſinuoſités détruiſent la force des torrens.

123. Il réſulte de-là, que *ces ſinuoſités multipliées diminuent conſidérablement la vîteſſe & la force des torrens.* Et c'eſt en cela que nous devons admirer la ſageſſe de la providence; car ſi la choſe n'étoit pas ainſi, aucune barrière ne pourroit modifier ces courans. Pour s'en convaincre, on n'a qu'à ſuppoſer un torrent qui deſcend ſeulement de 200 toiſes ou 1200 pieds de hauteur: s'il ne rencontroit point d'obſtacle, arrivé au bas de la montagne, l'action qu'il exerceroit ſur la ſuperficie d'un pied, équivaudroit au poids d'une colonne d'eau d'un pied carré de baſe, & de 1200 pieds de hauteur, c'eſt-à-dire à 84000 p., ou à 840 quintaux.

Examinons à préſent les torrens au pied des montagnes & dans les plaines.

§. II.

Des Torrens considérés au pied des Montagnes où ils se forment.

Deux cas à examiner.

124. Nous avons deux cas à examiner; savoir :

1°. Celui où le penchant de la montagne se propage sans interruption jusqu'au bord de la rivière qui reçoit les eaux du torrent;

2°. Celui où cette continuité de pente ardue du penchant est interrompue par l'interposition d'une plaine entre la rivière & la montagne.

Dans chacun de ces deux cas, les torrens nous offrant des variations particulières, il est à propos de les examiner séparément.

PREMIER CAS.

Il y aura un intervalle entre le bas de la chûte du torrent & la rivière qui le reçoit.

Fig. 5.

125. Nous avons vu (110) que le lit d'un torrent pris sur la montagne où il se forme, s'approche toujours davantage de la perpendiculaire ou verticale à mesure qu'il s'avance vers la fin de sa chûte; soit ABC (*fig.* 5.) la section d'une montagne au bas de laquelle se trouve une rivière CDE. Supposons qu'un torrent prenne sa source vers le sommet B, il creusera son lit suivant la courbe BFG, telle que les tangentes menées à ses divers points s'approcheront toujours plus du parallélisme avec la verticale BH : mais il est visible que cette courbe se trouve d'autant plus enfoncée dans le corps de la montagne, qu'elle s'approche davantage de la ligne du niveau AC qui passe par sa base. D'un autre côté, la rivière n'arrive qu'au point C; donc *il restera un intervalle CG entre la rivière & la courbe BFG, & cet intervalle sera compris dans l'intérieur de la montagne.*

Pente de cet intervalle.

126. La direction du torrent arrivé au bas de la chûte, tend à pousser, suivant KG, les matériaux qu'il a entraînés : mais

ces matériaux ne peuvent s'évacuer que dans la rivière CDE, & pour cela elles ont besoin d'être poussées avec une certaine force. Celle du courant dirigée suivant KG, est presqu'entièrement détruite par la réaction de CG : d'ailleurs, il faut une certaine pente au courant pour lui donner la force nécessaire au transport des matériaux, & GC n'en a point. Donc *les matériaux s'accumuleront au bas de la chûte, & le torrent se formera jusqu'à la rivière un nouveau lit, suivant la ligne KC, dont la pente lui donnera la force relative au transport des matériaux dans la rivière ;* ce qui est conforme à l'expérience.

127. On voit par-là que *la pente d'un torrent arrivé au pied de la montagne diminue*, puisque la ligne CK prolongée, entre dans la courbe BFG du lit en amont. La pente d'un torrent diminue au pied de la montagne.

128. *La pente du nouveau lit sera d'autant plus forte, que la grossièreté des matériaux sera plus grande.* Car plus les matériaux seront grossiers, plus il faudra de force au courant pour les charier. Or, la force primitive du courant ayant été presqu'entièrement détruite par la réaction du sol au bas de la chûte (126), il ne peut en recouvrer suffisamment que par la pente du nouveau lit : donc, cette force étant relative à la pente, cette pente devra être d'autant plus forte que les matériaux seront plus grossiers. Cette pente sera proportionnelle à la grossièreté des matériaux du fond.

129. *La longueur du nouveau lit KC sera d'autant plus considérable que la montagne aura plus d'empattement, & que les matières qui la formeront auront moins de tenacité.* Loi sur la longueur du cours de ce lit.

Car 1°. supposons la courbe BFG constante ; il est visible que plus la montagne aura d'empattement, ou ce qui est la même chose, moins le penchant BLC aura de pente, plus le point C sera éloigné du point correspondant G de la courbe, & par conséquent plus la ligne CK sera longue.

2°. Si, au contraire, on suppose le penchant BLC constant, moins les matières intérieures de la montagne auront de tenacité, plus la courbe BFG s'approchera de la verticale BH (110).

Or, il eſt viſible que dans ce cas la ligne CG augmentera à proportion, & qu'il en ſera de même de CK.

Conſéquence qui en réſulte.

130. Il ſuit de-là, que *ſi la montagne eſt rocher, cette longueur ſera preſque nulle.* Car alors la courbe BFG s'éloigne davantage de la perpendiculaire BH, & par conſéquent s'écarte moins du penchant BLC.

Le lit s'abaiſſera au commencement d'une crue & s'exhauſſera à la fin.

131. *Le lit s'abaiſſera au commencement d'une crue, & s'exhauſſera à la fin.*

1°. Au commencement de la crue, le volume d'eau & ſa force ſeront conſidérables & pourront corroder le fond. Donc le fond s'abaiſſera.

2°. Les eaux détachant toujours des matières de la montagne, les charieront le long de KC tant que la crue durera; mais à meſure que la crue ceſſera, les eaux n'ayant plus aſſez de force laiſſeront ſur la route les dernières matières enlevées. Donc, alors, le lit s'exhauſſera. Sur cela nous devons faire les obſervations ſuivantes.

1°. Si la crue eſt longue & forte, l'action des eaux ſur le fond ſe fera ſentir à proportion. Dans ce cas, le déblai ſera plus conſidérable que le remblai dont nous parlons; & après la crue, le lit ſera plus bas qu'auparavant.

2°. Si la crue eſt fort courte, le déblai ſera petit à proportion. Dans ce cas, il eſt poſſible que le remblais de la fin ſoit plus grand que le déblai; alors le lit ſera plus haut après la crue qu'auparavant.

Ainſi le lit du torrent ſera très-variable par ces déblais & remblais alternatifs; & c'eſt ce que nous avions avancé au n. 87. 1°.

Venons à préſent à l'examen du ſecond cas.

DEUXIÈME CAS.

Quelle ſera la

132. Soit la montagne ABC' (*fig. 6.*) au bas de laquelle ſe

trouve la plaine C'MC, terminée par la rivière CDE. Soit auſſi un torrent qui, ſe formant au haut B de la montagne, tombe par la courbe quelconque BFK, & qui, du bas de la chûte K, ſe rend à la rivière par la ligne KC, *la pente de cette ligne ſera la même que celle de la partie K C' compriſe entre la courbe de chûte BFK & le penchant BLC' de la montagne.*

pente du lit au bas de la montagne.
Fig. 6.

Pour le démontrer, on n'a qu'à ſuppoſer que le penchant BLC' prenne la poſition BL'C. Cette hypothèſe ne peut altérer en aucune manière la courbe BFK, & le bas de la chûte ſera par conſéquent toujours au point K. Or, dans ce cas nous avons vu (128) que la pente du nouveau lit KC ſeroit proportionnelle à la groſſièreté des matériaux : donc la même choſe aura lieu ſi le penchant prend la courbure KLC' & ſe termine en C' au lieu de ſe terminer en C.

133. Donc 1°. *ſi le penchant du terrein correſpondant à C'C eſt ſupérieur à cette ligne, le torrent s'y établira en pleine terre, & creuſera juſqu'à cette même ligne.*

Conſéquences qui en réſultent.

2°. *Si ce penchant coïncide avec cette ligne, le torrent y coulera ſuperficiellement.*

3°. *Si enfin ce penchant eſt inférieur, & qu'il prenne la poſition C'MC, le torrent formera un remblai juſqu'à la rivière.*

Tout cela eſt évident d'après la propoſition précédente.

134. Il ſuit encore de la même propoſition, que *dans ce dernier cas, ſi le torrent n'eſt pas contenu ſur la ligne C'C il ſe repandra ſur les campagnes voiſines & correſpondantes.*

Cas où le torrent ſe répandra ſur les domaines adjacens.

Car (105 2°.) le torrent doit ſe porter vers les endroits les plus bas. Or, par hypothèſe, les campagnes correſpondantes ſont inférieures à la ligne C'C.

Cela, d'ailleurs, n'eſt malheureuſement que trop démontré par l'expérience; car, dans les pays montueux, on voit à chaque pas les domaines les plus précieux, ſe couvrir journellement des dépôts des torrens qui deſcendent des montagnes ſupérieures à ces domaines.

C'eſt-là l'origine des terreins graveleux que nous rencontrons ſouvent au pied des montagnes, où ils forment la continuité des penchans ſupérieurs correſpondans, mais avec une pente beaucoup plus douce. On les reconnoît facilement en ce que la partie pierreuſe y domine ſur la partie terreuſe. Dans pluſieurs départemens du Midi on leur donne le nom de Greſq.

Les dépôts peuvent être utiliſés par le génie civil & par l'agriculture.

135. Ces ſortes de terreins, conſidérés relativement au génie, ont une propriété eſſentielle. Cette propriété conſiſte en ce que les chemins qu'on y place, n'ont beſoin d'aucun apprêt, & qu'ils ne ſe dégradent que très-rarement. La raiſon en eſt que la partie terreuſe forme une eſpèce de ciment qui lie les pierres & donne à l'enſemble plus de conſiſtance que ſi l'on n'employoit que de la pierraille, comme on eſt en uſage de le faire. Par conſéquent la nature nous indique que les engravemens des chemins doivent être faits avec un mêlange de terre & de pierre. Nous pourrons, dans ſon tems, traiter *ex profeſſo* cet important objet.

Ces mêmes terreins, conſidérés relativement à l'agriculture, ont l'avantage d'être très-propres à la culture de la vigne & de l'olivier, lorſque le climat & l'expoſition s'y prêtent. L'expérience, en effet, nous apprend que les vins & les huiles qu'on y recueille ſont toujours d'une qualité ſupérieure.

Revenons à notre ſujet.

Comment on détermine la pente à donner au lit d'un torrent ſur une chauſſée.

136. D'après ce que nous avons dit ci-deſſus, il eſt viſible que, lorſque le terrein C'MC eſt inférieur au prolongement C'C de la ligne KC', ſi l'on veut empêcher le torrent de s'extravaſer dans les domaines adjacens, il faut le contenir ſur une chauſſée ou de toute autre manière, & le conduire juſqu'à la rivière la plus voiſine. Il n'eſt pas moins viſible que la ligne CC' n'eſt point arbitraire, & que ſa pente doit être déterminée ſur celle de KC' (132). Par conſéquent, lorſqu'on aura à conſtruire des ouvrages relatifs à cet objet, on profilera d'abord la ſuperficie KC'MC de l'eſpace compris entre l'extrêmité K de la

chûte du torrent & le bord C de la rivière; & d'après cette opération, on déterminera la position de C'C qui doit avoir la même pente que KC', ainsi que nous venons de le dire.

137. Supposons qu'on donnât à C'C plus ou moins de pente qu'il ne lui en faut. Dans le premier cas, il y auroit une augmentation de remblais à pure perte, & le torrent dégraderoit les travaux jusqu'à ce qu'il fût parvenu à la ligne C'C (132).

Dans le second cas, le fond s'exhausseroit par des dépôts jusqu'à ce qu'il fût parvenu à la ligne C'C; & dans ce tems-là il s'extravaseroit & se répandroit sur les domaines adjacens (134).

Ainsi, nous le répétons, *la pente C'C n'est point arbitraire, mais elle doit être réglée sur celle de K C'.*

138. Supposons que la rivière s'éloigne en prenant la position NOP, ou qu'elle s'approche en prenant celle QRS. La chaussée du lit augmentera ou diminuera de hauteur proportionnellement à sa longueur.

Dans le premier cas, le point C tombant sur N, tirons la ligne NK' parallèle à CK, il est visible que NK' sera supérieure à CK: donc le remblai augmentera en hauteur & en longueur.

Dans le second cas, le point C tombant sur Q, tirons QK'' parallèle à CK, elle tombera au-dessous de CK: donc le remblai diminuera en hauteur & en longueur.

139. Il suit de-là que *les torrens doivent être conduits aux rivières par la ligne la plus courte.* Car plus la ligne sera courte, moins les remblais seront considérables & moins les dépenses seront fortes. Donc on doit conduire les torrens aux rivières par la voie la plus courte.

140. Si le lit qu'on assignera est trop large, les eaux, y ayant peu de profondeur, y auront aussi moins de force pour entraîner les matériaux qui descendent de la montagne. D'où il suit que les dépôts exhausseront le fond, jusqu'à ce que le lit ait assez de pente pour donner aux eaux la force nécessaire au transport des matières entraînées. Si le lit est trop large, le fond s'élèvera.

Donc plus le lit sera étroit, plus la pente sera petite.

141. Il suit de-là, que *la pente du lit d'un torrent devra être d'autant moindre que le torrent sera plus resserré.* Car alors les eaux perdant moins de leur force par les obstacles répandus sur le fond, n'auront pas besoin de réparer leur pente par une augmentation de pente.

Et moins la chaussée sera élevée.

142. Donc, si le torrent doit être conduit à la rivière voisine par une chaussée, *le remblai sera d'autant moins élevé que le lit sera plus resserré.*

Importance des principes précédens, pour les pays de montagnes.

143. Les principes que nous venons d'établir, quoiqu'encore imparfaits à cause de la nouveauté du sujet, sont néanmoins de la plus haute importance pour tous les pays de montagnes. On sait, en effet, que, dans ces pays, les domaines les plus précieux sont toujours situés au fond des vallées & le long des rivières, & qu'ils sont en même tems dominés par des montagnes, d'où les eaux d'orage descendent par la voie des torrens. Si l'on ne veut pas qu'ils soient engloutis par les décombres des montagnes, il faut nécessairement assigner un lit à ces torrens; & l'on voit par ce qui précède, que pour opérer à cet égard d'une manière sûre & économique, il faut, en attendant mieux, se conformer à ce que nous venons de prescrire.

§. III.

Des causes des Torrens & des effets qui en résultent.

La première cause de la formation des torrens est la destruction des bois des montagnes.

144. *La destruction des bois qui couvroient nos montagnes, est la première cause de la formation des torrens.*

La raison s'en présente d'elle-même. Ces bois, soit taillis, soit de haute-futaie, interceptoient, par leur feuillage & par leurs branches, une partie considérable des eaux pluviales & de celles d'orage. La partie restante & qu'ils ne pouvoient pas retenir,

ne

ne tomboit que goutte à goutte, & dans des intervalles assez longs pour qu'elle eût le tems de filtrer dans les terres. D'autre part, la couche de terre végétale qui s'accroissoit annuellement par la chûte des feuilles, s'imbiboit d'une quantité considérable de ces eaux. Enfin les touffes d'arbrisseaux rompoient & détruisoient, dès leur origine, les torrens qui pouvoient se former nonobstant toutes ces raisons. Les bois étant détruits, les eaux d'orage n'ont plus trouvé d'interception dans leur chûte. Ne pouvant pas, à raison de leur abondance, être absorbées par la terre à mesure qu'elles tomboient, elles ont coulé superficiellement, &, n'y ayant plus de touffes qui rompissent & divisassent leur cours, elles ont formé les torrens, ainsi qu'il a été dit (107 & 113).

145. *Les défrichemens sur les montagnes sont la seconde cause de la formation des torrens.* La deuxième cause est le défrichement des montagnes.

Car nous avons démontré (108) qu'un torrent se formeroit avec d'autant plus de facilité, que les matières qui composeroient la montagne auroient moins de tenacité. Or, les défrichemens, en rendant les terres meubles, ont diminué cette tenacité : donc ils ont favorisé la formation des torrens.

L'on voit par-là combien a été mal entendue & peu réfléchie la loi, rendue sous l'ancien régime, qui autorisoit les défrichemens, pourvu que l'on construisît, par intervalles, des murs de soutenement, pour arrêter les terres sur les penchans des montagnes. On n'a pas senti que, dans une infinité de contrées, on se bornoit à faire deux ou trois récoltes dans un défrichement, & qu'ensuite on l'abandonnoit. Conséquemment il étoit naturel que les murs de soutenement devant plus coûter que ne vaudroient les récoltes, on ne les construiroit pas. Aussi c'est-là ce qui est arrivé. Cependant il en est résulté jusqu'à présent, & il en résultera pour l'avenir, les désastres les plus affreux, ainsi que nous allons le voir.

Le premier désastre qui en résulte est la ruine de nos forêts.

146. Le premier désastre produit par les deux causes dont nous venons de parler, est *la ruine de nos forêts.*

S'il avoit existé des loix sages & qu'on eût soigneusement tenu la main à leur exécution, nous aurions aujourd'hui des bois de construction assez abondans pour nous passer de l'étranger. Nous aurions aussi en abondance des bois de charpente & de chauffage. On sent que tous ces objets sont essentiellement nécessaires dans un état bien organisé. Cependant ils nous manquent au point que dans un grand nombre de communes on n'a pas même du bois de chauffage. Le mal vient de loin, & il est très-instant d'y remédier.

Le deuxième désastre est la perte des pâturages sur plusieurs montagnes.

147. Le second désastre est *l'anéantissement en une infinité d'endroits de la couche végétale qui couvroit nos montagnes.*

Cette couche donnoit autrefois d'abondans pâturages pour les bêtes à laine. Emportée par les orages & les torrens, il ne reste plus aujourd'hui sur ces montagnes qu'un rocher nud & aride. De-là il résulte nécessairement une diminution dans le menu bétail qu'on auroit pu nourrir en France, si ces pâturages avoient continué d'exister.

Le troisième désastre est la ruine des domaines le long des rivières, & de ceux au bas des montagnes.

148. Le troisième désastre est *la ruine des domaines qui sont le long des rivières.*

Nous avons vu (70) que les crues étoient d'autant plus fortes, que les montagnes étoient moins boisées & plus décharnées. Ces crues sont donc plus fortes aujourd'hui par l'effet des deux causes mentionnées ci-dessus, qu'elles ne l'étoient autrefois: donc elles doivent causer, & elles causent réellement beaucoup plus de dégâts aux domaines riverains qu'elles n'en causoient autrefois.

D'autre part, nous avons vu (134) qu'il pouvoit arriver, comme en effet il n'arrive que trop souvent, que les torrens sortant de leur lit, couvrissent de dépôts les domaines adjacens situés au pied des montagnes; ce qui les dénature absolument.

Or, la chose n'a lieu que depuis que, par les deux causes ci-dessus (144 & 145), les torrens se sont formés.

149. Le quatrième désastre est *le dommage qu'éprouve la navigation des rivières par les divisions qui sont la suite des fortes crues.*

Le quatrième désastre est le préjudice qu'éprouve la navigation des rivières.

Nous verrons plus bas qu'une crue, forte & subite, divise souvent la rivière en plusieurs branches. En attendant, il nous suffit de dire, qu'autrefois cela étoit peu fréquent. Ce qui le prouve, c'est qu'en général les rivières étoient prises pour limites des terroirs des communes; ce qui n'auroit pas été, si, dans ces tems-là, ces rivières avoient été sujettes aux mêmes divisions qu'aujourd'hui. Or, il est visible que ces divisions en plusieurs branches, portent un très-grand préjudice à la navigation & à la flottaison des rivières.

150. Le cinquième désastre consiste dans *les contestations que les divisions des rivières font naître entre les propriétaires riverains opposés.*

Le cinquième désastre consiste dans les procès résultans de la division des rivières en plusieurs branches.

Car, si dans l'origine & à l'époque où la rivière n'avoit qu'un lit, le courant formoit la ligne divisoire, il est visible que ce courant, venant à changer, par la division en plusieurs branches, la ligne divisoire changera aussi. Sa position devenant variable & incertaine, il faut qu'il en résulte des procès; & c'est malheureusement ce qui n'arrive que trop souvent. Cependant la chose n'auroit pas lieu si l'on n'avoit pas détruit les bois & les couches de terre végétale sur les montagnes.

151. Le sixième désastre résulte des *dépôts qui se forment à l'embouchure des fleuves, & qui interceptent souvent la navigation.*

Le sixième désastre est l'obstruction de l'embouchure des fleuves.

Car il est démontré, par l'expérience, que les atterrissemens qui se forment à l'embouchure des fleuves, gênent extrêmement la navigation. Il est aussi démontré, par l'expérience, que ces atterrissemens se sont opérés beaucoup plus rapidement, dans ces derniers tems, qu'autrefois. L'exemple du Rhône,

que nous avons rapporté au n. 11, en eſt une preuve convaincante. Or ces dépôts ne peuvent provenir que des dépouilles des montagnes défrichées.

Le ſeptième déſaſtre eſt la diminution des ſources.

152. Enfin le ſeptième déſaſtre conſiſte dans *la diminution des ſources qui alimentent les fleuves & les rivières dans leur état ordinaire.*

Nous avons vu (45), que les ſources provenoient des eaux pluviales qui, filtrant à travers la terre, ſe rendoient dans des réſervoirs ſouterreins, d'où elles s'échappoient enſuite par de petits canaux & paroiſſoient à la ſurface de la terre. Or, ſi les montagnes ſe dépouillent de leur couche de terre végétale, & qu'il n'y reſte plus que le rocher nud, il eſt viſible que les eaux pluviales ne filtreront plus, & qu'elles s'écouleront toutes ſuperficiellement (70) : donc les ſources doivent diminuer, ainſi que les rivières qui les alimentent : il viendra même un tems où les rivières, qui aujourd'hui ſont navigables, ceſſeront de l'être. A la vérité, cette époque eſt encore éloignée ; mais tôt ou tard elle arrivera, ſi l'on ne détruit pas la cauſe qui doit opérer cet effet.

Nous allons à préſent parler des rivières.

SECTION III.

Des Rivières.

Diviſion de cette ſection.

153. Nous diviſerons cette ſection en deux chapitres. Dans le premier, nous examinerons les rivières qui charient du gravier ; & dans le ſecond, nous traiterons de celles qui ne charient que du ſable & du limon.

CHAPITRE I.

Des Rivières à fond de gravier.

§. I.

De la nature & de la pente du lit des Rivières à fond de gravier.

154. Supposons une vallée BCD (*fig.* 7.) formée par les montagnes ABC, CDE, & au fond de laquelle se trouve une rivière; s'il ne s'y rencontre aucune pierre, il est visible que cette rivière occupera constamment l'endroit C le plus bas de cette vallée, sans pouvoir s'étendre ni à droite ni à gauche, puisqu'elle trouveroit le penchant des montagnes de chaque côté; & dans ce cas, il ne sauroit y avoir de différence entre *le lit majeur* & *le lit mineur* (90), à cause que le lit sera un véritable canal terminé de part & d'autre, par le penchant de ces mêmes montagnes. Mais si par quelqu'événement que ce soit, le fond de la vallée se remplit de pierres, il cessera d'avoir la forme d'un canal, & prendra la position de la droite FG : pour lors la rivière coulera sur le plan dont cette ligne est la coupe transversale; & si ce plan a une certaine largeur FG, telle qu'elle ne puisse être entièrement occupée que par les eaux dans les grandes crues (89 1°.) la rivière aura un *lit majeur* & un *lit mineur*. Or, tel est l'état de toutes les rivières à fond de gravier, & dans lesquelles on distingue les deux lits dont nous venons de parler : donc le fond des vallées que *ces rivières parcourent a été encombré par des dépôts de pierre.*

Le fond des vallées où les rivières ont établi leur lit a été encombré par des pierres. Fig. 7.

Pour s'en convaincre, on n'a qu'à sonder la profondeur du gravier sur divers points de FG, on trouvera que cette profon-

deur augmente en avançant vers le point le plus bas C de la vallée, & qu'au contraire elle diminue en s'approchant des bords F & G.

Les domaines riverains de niveau avec le lit, ont été gagnés sur ce lit.

155. *Si le gravier du lit majeur de la rivière n'occupoit que la largeur HK, & que laterralement il se trouvât des domaines qui occupassent les espaces FH, KG placés sur la même ligne de niveau FG, ou à-peu-près, que HK, on peut être assuré que ces domaines ont été gagnés sur le lit majeur de la rivière.*

Car, si cela n'étoit pas ainsi, les lignes FH, KG seroient la suite des penchans correspondans BF, DG. Or la continuité des penchans ne se forme jamais de lignes horisontales.

En creusant dans ces domaines on trouvera le gravier.

156. Il suit de-là *qu'en creusant à quelque profondeur sur les domaines riverains FH, KG, on trouvera infailliblement le gravier de la rivière.*

Cela est évident, puisque ces domaines ont été gagnés sur le lit majeur & sont par conséquent superposés au gravier.

Cette observation est très-utile dans le cas où l'on construit un chemin à travers ces sortes de domaines ou aux environs. Dans ce cas, on n'a qu'à ouvrir une tranchée dans ces terreins, & l'on s'y pourvoira de tous les graviers nécessaires aux engravemens.

Les encombremens qui forment le gravier, tirent leur origine des montagnes adjacentes.

157. Nous avons vu dans la section précédente que les penchans des montagnes sont sillonnés de torrens; que ces torrens en détachent des masses composées de terre & de pierre, & qu'ils les jettent dans les rivières voisines. Ces rivières ayant des crues plus longues que celles des torrens (63), & d'ailleurs, étant habituellement alimentées par un certain volume d'eau (56), la partie terreuse sera bientôt dissoute; mais les pierres resteront & formeront l'encombrement dont nous avons parlé ci-dessus (154). Donc *les encombremens qui forment le gravier des rivières tirent leur origine des montagnes adjacentes.*

La quantité de gravier que la rivière

158. *La quantité de gravier que les rivières recevront par leurs*

affluens ſera, toutes choſes d'ailleurs égales, proportionnelle à la déclivité des pays arroſés par ces affluens.

reçoit, eſt proportionnelle à leur nombre & à la déclivité des pays qu'il ſuit.

Car, 1°. puiſque les eaux des torrens détachent ces pierres des montagnes, elles en détacheront d'autant plus, qu'elles agiront ſur un plus grand nombre de points, ou que le pays arroſé ſera plus étendu.

2°. Ces pierres ſeront entraînées avec d'autant plus de facilité, que les montagnes ſeront plus ardues.

La groſſièreté du gravier eſt proportionnelle à la déclivité & à la proximité des montagnes.

159. *La groſſeur des pierres que les torrens entraîneront dans les rivières, ſera d'autant plus conſidérable, que les montagnes ſeront plus ardues & plus proches de ces rivières.*

1°. Plus les montagnes ſeront ardues, moins il faudra de force aux eaux des torrens pour détacher de groſſes maſſes de pierres.

2°. Plus ces montagnes ſeront proches des rivières, plus le trajet de tranſport ſera court: conſéquemment, moins les torrens perdront de leur force au bas de la montagne, & plus il leur en reſtera pour charrier ces matériaux.

Donc le gravier ſera plus ou moins groſſier, ſuivant la hauteur & la pente des montagnes.

160. De-là il ſuit 1°. que les *matériaux du lit d'une rivière ſeront plus ou moins groſſiers, ſelon que les montagnes qui la borderont, ſeront plus ou moins eſcarpées.*

La choſe eſt évidente, & d'ailleurs elle eſt confirmée par l'expérience.

2°. Que *lorſqu'il n'y aura point de montagnes, il n'y aura point de gravier.*

L'exemple de la Saône, de la Seine, de la Marne, &c., juſtifie cette conſéquence.

La groſſièreté du gravier augmente ou diminue en s'approchant ou en s'éloignant de la ſource de la rivière.

161. Nous avons vu (45 & 55) que les eaux de ſource ſortoient particulièrement des montagnes, & (51 1°.) qu'elles formoient les rivières dans leur état habituel. Par conſéquent les rivières prennent en général leur origine aux montagnes; mais (9) les montagnes diminuent conſtamment de hauteur en s'éloignant du point culminant du groupe. D'autre part, la déclivité ou

la rapidité de leur penchant diminue aussi à proportion de la hauteur. Donc, d'aprés ce que nous venons de dire (159), la grossièreté des matières du fond d'une rivière augmentera en remontant vers la source, & elle diminuera en s'en éloignant.

La chose est conforme aux observations, ainsi que chacun peut s'en convaincre.

Si les montagnes riveraines s'abaissent ou s'éloignent, la largeur du gravier augmentera.
Fig. 7.

162. *Si les montagnes formant la vallée s'éloignent ou s'abaissent, la longueur FG (fig. 7) de la ligne transversale du gravier augmentera.*

Car, 1°. les montagnes s'éloignant, leurs penchans CGD, CFB s'écarteront l'un de l'autre: par conséquent leur distance prise sur la ligne FG augmentera.

2°. Pareillement, si les montagnes ABC, CDE s'abaissent & si elles deviennent AB'C, CD'E, il est visible que la ligne FG deviendra F'G' plus longue que la première.

Ainsi, dans le premier cas, les montagnes s'éloignant, & leur déclivité étant supposée constante, le sommet de l'angle formé par la rencontre de leurs penchans, tombera au-dessous du point C, tandis que la ligne FG ne change pas de position. Or le sommet de l'angle s'éloignant, FG qui joint ses côtés doit augmenter.

Dans le second cas, au contraire, les sommets des montagnes baissant, leur rapidité diminue; &, par conséquent, l'angle formé au point C par le concours de leurs penchans, augmentera. Donc la ligne FG, qui ne varie pas dans sa position & qui mesure la distance des côtés de cet angle, augmentera aussi.

Si les montagnes riveraines se rapprochent ou s'élèvent, la largeur du gravier diminuera.
Fig 7.

163. *Si les montagnes qui forment la vallée se rapprochent ou s'élèvent, la longueur FG de la ligne transversale diminuera.*

En effet, 1°. si elles s'approchent, leurs penchans CGD, CFB se rapprocheront aussi; &, par conséquent, la ligne FG, qui mesure leur distance suivant cette direction, diminuera.

2°. Si elles s'élèvent, & qu'elles deviennent AB"C, ED"C, leur

leur rapidité augmentera, leurs penchans ſe rapprocheront, & leur diſtance ſuivant la ligne FG, deviendra F"G", qui ſera évidemment moindre que FG.

164. Puiſque la hauteur des montagnes augmente en s'approchant de la ſource d'une rivière, & qu'elle diminue en s'en éloignant, il ſuit, de ce que nous venons de dire (162 & 163), qu'*il y aura plus ou moins de terrein à gagner ſur le gravier du lit des rivières, ſelon qu'on s'éloignera ou qu'on s'approchera de leur origine.*

La largeur des terreins à gagner eſt relative à la diſtance de la ſource.

165. Les pierres qui tombent dans le lit des rivières ſont d'abord d'une forme anguleuſe & irrégulière, comme on peut le voir dans les torrens pris au bas des montagnes où ils ſe forment; l'action des eaux des rivières dans les crues, les oblige à rouler & à ſe choquer les unes les autres. Dans ce mouvement de rotation, & par ces divers chocs, les angles s'écornent, les ſurfaces ſe poliſſent, & leur forme devient régulière, ou à-peu-près. C'eſt lorſqu'elles ſont parvenues à cet état, qu'elles prennent le nom de *galets*. Mais pour y parvenir, elles ont beſoin de rouler ſur une certaine étendue, & par l'action des crues d'une certaine longueur. Avant ce terme, elles ſont plus ou moins écornées, & s'approchent plus ou moins de la régularité des *galets*, ſuivant l'eſpace parcouru, & c'eſt ſur-tout dans le lit des torrens-rivières qu'on les trouve dans cet état d'imperfection : auſſi eſt-ce-là le vrai moyen de diſtinguer au premier abord, & en tout tems, le torrent-rivière de la rivière proprement dite.

Conſidérations ſur le gravier & les galets; uſage qu'on en peut faire pour diſtinguer la rivière du torrent-rivière.

Comme les pierres qui deſcendent des montagnes ſont de diverſes groſſeurs, cette diverſité continue dans le lit des rivières. Ainſi, le gravier n'eſt qu'un mélange de pierres de toute groſſeur, depuis un volume déterminé & au-deſſous; & ſa groſſièreté, en général, conſiſte dans le plus ou moins de groſſeur des galets qui y dominent.

Origine des dépôts de gravier supérieurs au lit des rivières.

166. Nous avons dit (5) qu'en divers endroits, & à une certaine hauteur on trouve des amas considérables de cailloux roulés ou *galets*. Nous ajouterons ici qu'on rencontre aussi fort souvent, dans les endroits élevés, du gravier dont les pierres ne sont encore qu'imparfaitement arrondies. Par conséquent, en examinant les rivières ou torrens-rivières qui sont dans la contrée, on pourra, d'après ce que nous avons dit (165), déterminer par quel courant ces dépôts ont été formés.

Pourquoi le lit des rivières s'abaisse, malgré les graviers affluens.

167. Les torrens transportant continuellement des pierres dans le lit des rivières, & ces pierres ne parvenant pas jusqu'à la mer, ainsi que nous le verrons plus bas, il semble que ce lit devroit habituellement s'exhausser. Cependant il arrive le contraire, comme nous l'avons dit (5 & 166). Deux causes empêchent les progrès de cet exhaussement.

La première est le frottement continuel des galets, les uns contre les autres, dans les crues; frottement qui les use & en atténue habituellement les parties. La chose paroîtra peu surprenante, si l'on observe qu'il est bien difficile qu'une des plus grosses pierres qu'on trouve dans le gravier du lit des rivières puisse, par l'effet d'un mouvement violent, tel qu'est celui du tems des crues, rouler seulement l'espace de 10 lieues sans s'anéantir entièrement.

La seconde est l'abaissement habituel du niveau de la mer dont nous avons parlé aux n. 4 & 5, & qui, comme on verra dans la suite, influe nécessairement sur l'abaissement du lit des rivières dans toute l'étendue de leur cours.

Ainsi, par le concours de ces deux causes, *non seulement le lit des rivières ne doit pas s'élever, mais au contraire il doit continuellement s'abaisser; & c'est ce qui est confirmé par l'expérience.*

168. Après avoir expliqué tout ce qui tient à la formation & à la nature du lit des rivières, il nous reste à voir l'action des eaux sur les matières qui le composent & les variations qui en

résultent dans toutes les hypothèses. Pour cela il faut préalablement fixer nos idées sur la force des eaux, la résistance des matériaux du fond & l'équilibre qui s'établit entre cette force & cette résistance.

169. Nous avons dit (48) que, dans les crues, toutes les matières du fond étoient en mouvement, & (85) que ces mêmes matières ne se mettoient en équilibre, avec l'action du courant, que pendant l'écoulement secondaire des eaux pluviales auxquelles nous avons donné le nom de *volume d'eau d'équilibre*. D'après la définition donnée au n. 89 2°., ce volume est le volume moyen des eaux d'écoulement secondaire qui succèdent à la crue. L'action de ce volume ou sa force se mesure, ainsi que la force de tous les corps, par le produit de la masse, par la vîtesse qui l'anime. Or nous avons vu (100) l'impossibilité de fixer la loi du mouvement des eaux des torrens & des rivières, & (101) que la vîtesse moyenne remplissoit le même objet : ce sera donc la vîtesse moyenne que nous adopterons pour la vîtesse commune à toutes les particules de la masse. Quant à cette masse, elle est le volume qui, dans une seconde, que nous prenons pour unité de tems, passe par la section du lit à l'endroit sur lequel nous raisonnerons, & ce volume doit être regardé comme évalué en pieds cubes, à cause que nous prenons le pied pour unité. En conséquence, la *force d'équilibre du courant sera exprimée par le volume d'eau d'équilibre multiplié par la vîtesse moyenne.*

La force d'équilibre des courans est exprimée par le volume d'équilibre multiplié par la vîtesse moyenne.

Au surplus, nous ne devons pas nous dissimuler que cette force n'agit en entier que sur les grands obstacles qui se rencontrent sur sa route, tels que les digues, les bords du lit quand ils se présentent obliquement à la direction du courant, &c. ; au lieu qu'il n'y a que les couches inférieures qui agissent sur les matériaux qui forment les inégalités du fond. Cependant, comme ces couches supportent le poids de toutes les couches supérieures, n'étant d'ailleurs question ici que de fixer des

rapports d'approximation, & de les vérifier conſtamment par l'expérience, nous croyons pouvoir, ſans crainte d'erreur ſenſible, prendre l'expreſſion de la force que nous venons de fixer, pour celle qui agit ſur les matières du fond & à laquelle elle doit être ſenſiblement proportionnelle, la vîteſſe étant ſuppoſée la même pour tous les filets.

Cette force eſt auſſi repréſentée par le même volume multiplié par une fonction quelconque de la pente.

170. Par la théorie de la chûte des corps, soit libre, ſoit ſur des plans inclinés, la vîteſſe acquiſe eſt exprimée par l'ordonnée d'une parabole dont le paramètre = 60 pieds & l'abciſſe eſt la hauteur due. D'où il ſuit que, dans la théorie, les vîteſſes ſont comme les racines quarrées des hauteurs. Dans les rivières, l'eau coule à la vérité ſur un plan incliné; mais nous avons vu (101) qu'on ne pouvoit pas, à la rigueur, lui appliquer ce rapport de la vîteſſe à la hauteur. Tout ce que nous pouvons dire, c'eſt que la hauteur du plan incliné, ou la pente de la rivière augmentant ou diminuant, la vîteſſe augmentera ou diminuera auſſi d'après une fonction quelconque de cette pente, mais dont la détermination, aſſez inutile d'ailleurs pour l'objet que nous propoſons, ſera probablement encore long-tems inconnue par la multiplicité & les variations à l'infini des élémens qui y entrent. En conſéquence, ne deſirant & ne pouvant aujourd'hui obtenir que des rapports approximatifs, nous pourrons auſſi repréſenter la force du courant qui agit ſur le fond ou *la force d'équilibre, par le volume d'eau d'équilibre, multiplié par une fonction quelconque de la pente.*

La réſiſtance des matières du fond eſt proportionnelle à leur groſſièreté.
Fig. 8.

171. Soit AB (fig. 8.) un plan incliné faiſant partie d'une portion du lit d'une rivière. Soit auſſi, ſur ce plan, le corps D repréſentant une pierre iſolée, poſée parmi celles qui compoſent le fond. Cette pierre, étant entièrement plongée dans l'eau, perdra autant de ſon poids que pèſe le volume d'eau dont elle occupe la place. Repréſentons le reſte de ſon poids par la verticale FF, & abaiſſons la perpendiculaire EG. Cette dernière ligne exprimera ſa preſſion ſur le plan & ſera proportion-

nelle à l'énergie avec laquelle elle résistera à l'action du courant. Mais on a EF:EG::AB:BC. Donc, puisqu'à cause de la petitesse de AC on peut, sans erreur sensible, supposer BC=AB, on pourra aussi, par la même raison, supposer EG=EF; par conséquent la résistance, que ce corps opposera, sera proportionnelle à son poids relatif; &, puisque le poids relatif est proportionnel au poids absolu, & celui-ci au volume ou à la grosseur des matières, *la résistance de ce corps sera aussi en proportion avec son volume ou sa grosseur.*

Jusqu'ici nous n'avons considéré qu'un corps isolé, placé sur le fond du lit d'une rivière; mais dans la nature, les choses ne sont pas ainsi : les pierres couvrent le fond en entier : elles sont placées les unes à la suite des autres; & quoique disposées au hasard & en désordre, cependant elles se soutiennent mutuellement jusqu'à un certain point. Par cette irrégularité de disposition respective, il seroit difficile, pour ne pas dire impossible, de fixer au juste le rapport de la résultante des résistances. Mais on sent, qu'en général, dans ce cas, *cette résistance doit à-peu-près être encore proportionnelle à la grossièreté des matières;* car il est visible que plus ces matériaux seront volumineux, plus ils résisteront.

172. *Pour que le lit d'une rivière prenne une consistance, il faut que les matières du fond se mettent en équilibre avec l'action des eaux.* Les matières du fond doivent se mettre en équilibre avec l'action des eaux.

Car si cet équilibre n'avoit pas lieu, les matières du fond seroient dans un mouvement continuel, & le lit ne prendroit aucune consistance fixe; ce qui est contraire aux loix de la nature & à l'expérience.

173. Donc, puisque l'action ou la force des eaux est (169) comme le produit de la masse par la vîtesse, ou (170) comme le produit de cette masse par une fonction de la pente, & que (171) la résistance des matières du fond est comme leur grossièreté, toutes ces quantités seront en proportion. Conséquence qui en résulte.

C'eſt de-là que nous allons déduire les propoſitions ſuivantes.

La groſſièreté des matières du fond augmente avec la force de la rivière.

174. *Plus la force de la rivière ſera conſidérable, plus les matières du fond ſeront groſſières.* Car, ſi la force de la rivière augmente, la réſiſtance des matières qui, par leur poids, doivent lui faire équilibre, augmentera auſſi. Or (171), cette réſiſtance eſt proportionnelle à la groſſeur des matières : donc la force de la rivière ſera proportionnelle à la groſſièreté de ces mêmes matières.

Et réciproquement.

175. Il s'en ſuit de-là, que réciproquement *plus les matières ſeront groſſières, plus le courant pris dans l'état d'équilibre aura de force.*

La choſe eſt évidente, puiſqu'une plus grande réſiſtance doit faire équilibre à une plus grande force.

On ſent que l'inverſe de l'une & l'autre propoſition a également lieu.

Ces deux propoſitions ſont confirmées par l'expérience ; car par-tout où les rivières ont plus de force, les matières du gravier y ſont plus groſſières, & réciproquement.

Le volume d'eau étant conſtant, la pente augmentera ou diminuera avec la groſſièreté des matières du fond.

176. *Si le volume d'eau eſt conſtant ſur tout le cours du courant, la pente augmentera ou diminuera avec l'augmentation ou la diminution de la groſſièreté des matières du fond.*

En effet, 1°. ſi la groſſièreté des matières augmente, leur énergie ou réſiſtance augmentera (171). Donc, dans le cas d'équilibre la force du courant doit augmenter (175) ; mais cette force eſt le produit de la maſſe par la vîteſſe (169). La maſſe étant conſtante par hypothèſe, la vîteſſe doit donc s'accroître. Or (170), cette vîteſſe ne peut s'accroître qu'à meſure que la pente augmentera : donc cette pente augmentera avec la groſſièreté des matières du fond.

2°. Par les mêmes raiſons, ſi cette groſſièreté diminue, la réſiſtance diminuera. Il en ſera de même de la force & de la vîteſſe du courant ; par conſéquent la pente diminuera auſſi.

177. *Si la grossièreté des matières est uniforme sur toute la longueur du lit, la pente augmentera ou diminuera lorsque le volume d'eau diminuera ou augmentera respectivement.*

La grossièreté des matières, du fond étant constante, la pente suivra la raison inverse du volume d'eau.

Car 1°. le volume d'eau diminuant, & la résistance étant constante par l'uniformité des matières du fond, la force devant aussi être constante, la vîtesse augmentera. Or, elle ne peut s'accroître qu'avec la pente (170).

2°. Au contraire, le volume d'eau augmentant & la résistance étant supposée constante, la force qui pour lors doit aussi être constante, exige que la vîtesse diminue : donc, dans ce cas, la pente diminuera aussi (170).

178. Nous avons vu (161) que la grossièreté des matières du fond augmente en remontant vers la source d'une rivière, & qu'elle diminue en s'en éloignant ou en descendant : d'autre part, nous avons pareillement vu (60) que le volume d'eau d'une rivière augmente ou diminue en s'éloignant ou en s'approchant de sa source. Donc, d'après les deux propositions ci-dessus (176 & 177), la pente du lit d'une rivière augmentera continuellement en remontant vers sa source, & elle diminuera de même en descendant. Par conséquent, *ce lit ne formera pas une seule ligne droite, mais une suite de plans dont l'inclinaison variera à chaque pas, & qui seront les élémens d'une courbe dont le point générateur s'élèvera continuellement en avançant vers la source de la rivière ;* ce qui est parfaitement conforme aux observations.

Le fond du lit formera une courbe qui s'élèvera en avançant vers la source.

179. Si l'on examine la nature de cette courbe, on voit qu'elle doit être de la classe des courbes assymptotiques; car, menons l'horisontale AB (fig. 9) dans laquelle le point A soit du coté d'aval & la pointe B du côté d'amont, & élevons les perpendiculaires PM, P'M', P''M'' &c., elles seront (178) les ordonnées de cette courbe qui touchera l'axe des abcisses AB lorsque PM ou la pente sera = o. Or pour que, toutes choses d'ailleurs égales, la pente s'anéantisse, il faut que la résistance

La courbe du lit sera assymptotique.

du fond ſoit nulle, ou que le volume d'eau ſoit infini. En effet la pente s'anéantiſſant, la vîteſſe qu'elle imprime à la maſſe s'anéantit auſſi, ou, ſi l'on veut, devient infiniment petite; donc il faut que la réſiſtance du fond devienne nulle, ou, ſi elle eſt finie, il faut que la maſſe d'eau devienne infinie. Or la réſiſtance du fond ne ſera jamais $=0$, ni la maſſe ou le volume d'eau $= \infty$; donc PM aura toujours une valeur, & par conſéquent *la courbe MM'M" ſera aſſymptotique,* puiſqu'elle ne pourra toucher l'axe AB des abciſſes qu'à l'infini.

Le volume d'eau étant conſtant, la groſſièreté des matières du fond augmentera avec la pente.

180. *Si la pente d'une rivière augmente & que le volume de ſes eaux ſoit conſtant, la groſſièreté des matieres du fond augmentera auſſi.*

La raiſon s'en préſente d'elle-même. La pente augmentant, la vîteſſe & la force de la rivière augmenteront auſſi (170); donc, pour l'équilibre, la réſiſtance du fond doit augmenter: mais cette réſiſtance ne peut s'accroître que par l'augmentation de la groſſièreté des matières (171).

Application de ce principe au redreſſement du lit des rivières.

181. Suppoſons qu'on redreſſe le lit ſinueux d'une rivière, en abrégeant ſon cours, on augmentera ſa pente en cet endroit. Donc, par la propoſition précédente, la groſſièreté des matières du fond augmentera pareillement de proche en proche juſqu'à la diſtance où, par l'effet de l'augmentation de réſiſtance qui en réſultera, ou de celle mentionnée au n. 103, le courant ſe ſera mis de nouveau en équilibre avec les matières primitives.

L'obſervation ſuivante confirmera cette aſſertion. Frizi rapporte qu'en abrégeant le cours de l'Arno de quatre milles, cette rivière a pouſſé du gravier juſqu'à trois milles au-delà du point où elle ceſſoit d'en charier auparavant: d'où l'on doit conclure *qu'en opérant des redreſſemens dans les rivières, on portera, en général, la groſſièreté des matériaux qui ſe trouvent à un endroit déterminé, à une diſtance plus avancée en aval d'environ les trois quarts de la longueur du racourciſſement du cours de ces rivières.*

182.

182. Puisqu'un redressement de lit augmente la pente, & que (105 2°.) les courans tendent toujours à s'établir aux endroits où cette pente est plus forte ; il s'en suit que si une rivière rencontre sur son cours un endroit pareil, elle s'y précipitera d'elle-même. C'est pour cette raison, qu'en 1711, le Rhône, près de son embouchure, abandonna son ancien lit, connu sous le nom du *canal de bras de fer*, pour se jetter dans celui des Lônes qu'il occupe encore aujourd'hui. Par conséquent quand on a de pareils redressemens ou racourcissemens à faire, lorsqu'il n'y a pas de rocher ni d'autres matières qui ayent trop de tenacité, il suffit, le plus souvent, d'ouvrir une simple tranchée de peu de largeur, & de laisser, au courant qui s'y précipitera de lui-même, le soin de s'aggrandir convenablement par la corrosion qu'il ne manquera pas d'exercer sur les bords ; ce qui facilitera infiniment ces sortes d'opérations & en diminuera considérablement les dépenses.

Moyen de simplifier les frais de redressement du lit des rivières.

183. *Le volume d'eau d'une rivière étant toujours supposé constant, si l'on en diminue la pente, la grossièreté des matières du fond diminuera aussi.*

Le volume d'eau étant constant, la grossièreté des matières du fond diminuera avec la pente.

Car la pente diminuant, la vîtesse diminuera aussi (170), de même que la force (169). Donc cette force ne pourra plus faire équilibre qu'à une résistance moindre qu'auparavant : or, cette résistance (171) est comme la grossièreté des matières du fond : donc cette grossièreté diminuera.

184. Cette proposition s'applique naturellement aux déversoirs dont on se sert pour barrer le lit des rivières. Ces sortes d'ouvrages, en détruisant la pente de la rivière, détruisent aussi sa vîtesse & sa force : le courant n'a donc plus assez d'énergie pour charier du gravier ; & les eaux ne s'écoulant que par l'effet de la pression verticale, la grossièreté des matières du fond s'anéantit jusqu'à une certaine distance en amont du déversoir : c'est ce que l'expérience démontre.

Application de ce principe aux déversoirs.

Un déverſoir oblige le lit de s'exhauſſer en amont.
Fig. 10.

185. *Si l'on barre une rivière par un déverſoir, ſon lit s'exhauſſera en amont de ce déverſoir.*

Soient AB (*fig.* 10.) une portion du lit ſur laquelle on a conſtruit le déverſoir CDEF. Du ſommet de ce déverſoir menons l'horiſontale CG qui rencontre AB en G. Le courant arrivé en G ſera obligé de ſe mouvoir de G en C, en vertu de ſa vîteſſe acquiſe. Mais, d'une part, pour peu de hauteur qu'ait le déverſoir, cette vîteſſe eſt bientôt détruite par la réſiſtance qu'oppoſe la maſſe ſtagnante CFG, que le courant choque ſuivant ſa direction AG (105 1°.); & de l'autre, ce rallentiſſement retardant les eaux antérieures, ſe fait ſentir de proche en proche, aux eaux poſtérieures ou du côté d'amont, juſqu'à une certaine diſtance d'autant plus grande que la pente eſt plus petite. Donc les eaux affluentes en amont de G ayant moins de vîteſſe & conſéquemment moins de force qu'auparavant, n'auront plus aſſez d'intenſité pour charier les matières que les torrens ſupérieurs ne ceſſent de tranſporter dans ſon lit. Donc le lit s'exhauſſera en amont du déverſoir.

La même propoſition peut être démontrée d'une manière encore plus ſimple. La deſtruction de la vîteſſe retient (184) toutes les matières groſſières en amont du déverſoir. Or les torrens qui affluent en amont ne ceſſent d'en charier; donc ces matières, ne paſſant plus au-delà du déverſoir, s'accumuleront en amont, & par conſéquent elles y exhauſſeront le lit.

Cette vérité eſt démontrée par l'expérience : par-tout où l'on barre une rivière pour procurer de l'eau ou des chûtes à des moulins ou à d'autres engins, on remarque conſtamment cet exhauſſement.

La groſſièreté des matières du fond ſera à ſon *minimum* près du déverſoir.

186. La deſtruction de la vîteſſe & de la force du courant eſt à ſon *maximum* près du déverſoir : mais comme elle n'eſt produite que par la réaction des eaux ſtagnantes CFG, cette deſtruction diminuant par degré en remontant, ainſi que nous venons de le dire, la force augmentera en remontant juſqu'à ce

qu'elle soit devenue la même que si le déversoir n'existoit pas. Donc (174) *la grossièreté des matières sera à son MINIMUM près du déversoir, & elle augmentera progressivement en remontant.*

187. En appliquant au lit d'une rivière, coupé par divers déversoirs, ce que nous avons dit (179), on verra que le fond formera diverses lignes assymptotiques, interrompues par ces mêmes déversoirs auxquels répondront respectivement les moindres ordonnées; car la loi des vîtesses & des forces du courant, soit en amont & en aval des deux déversoirs extrêmes, soit dans les entre deux, se trouvant la même que s'il n'en existoit aucun, la courbe du fond doit être rangée dans la même classe.

Chaque déversoir produit au fond du lit une courbe assymptotique.

188. L'usage des déversoirs est très-pernicieux dans une infinité de cas; car, outre qu'ils gênent & souvent même qu'ils interrompent la navigation ou la flottaison, si les domaines adjacens ont peu de hauteur, ils forcent les eaux des crues à les inonder; de-là résulte non seulement la perte des récoltes, mais encore l'origine des marais qui privent la société de terreins précieux & qui nuisent à la santé des habitans par l'insalubrité dont ils infectent l'air environnant; de simples canaux de dérivation, dont la prise d'eau seroit un peu au-dessus de l'extrémité G des eaux rendues stagnantes par le déversoir, produiroient la même chûte, seroient souvent d'une construction & d'un entretien qui exigeroient moins de frais & n'auroient aucun des inconveniens de ces sortes d'ouvrages de barrage.

Combien l'usage des déversoirs est pernicieux.

189. *Si l'on détruit un déversoir, on augmentera d'autant la pente de la rivière, & alors il en résultera l'effet mentionné au n.* 181. La chose est évidente & n'a pas besoin de demonstration.

Effets résultans de la démolition d'un déversoir.

Ce qu'il y auroit de plus essentiel est que la démolition des déversoirs anéantiroit tous les effets désastreux qu'ils produisent, & dont nous venons de parler au n. précédent.

La grossièreté des matières du fond étant constante, la pente diminuera lorsque le volume d'eau augmentera.

190. *Lorsque le volume d'eau augmente, & que la grossièreté des matières est constante, la pente diminue.*

Car puisque la grossièreté des matières du fond est constante, leur résistance doit l'être aussi. Donc il doit en être de même de la force de la rivière dans l'équilibre. Par conséquent, puisque la masse a augmenté, il faut que la vîtesse diminue à proportion. Donc (170) la pente doit pareillement diminuer.

Donc en aval d'un confluent la pente de la rivière principale diminuera.

191. *Il suit de-là qu'en aval du confluent des deux rivières, la pente de la rivière principale doit être moindre qu'en amont.* C'est une conséquence, non seulement de la proposition du n. 190, mais encore du n. 177; & elle est trop claire pour y insister, d'autant mieux qu'à chaque pas l'expérience le prouve.

Les rétrécissemens du lit en diminuent la pente.

192. *Si par quelque cause que ce soit le lit d'une rivière se rétrécit en un endroit déterminé, la pente diminuera en aval.*

Car dans ce cas, toute la rivière se trouvant réduite sur un moindre espace, doit éprouver les mêmes symptômes que si elle recevoit un plus grand volume d'eau.

Si la grossièreté des matières du fond est constante, la pente augmentera quand le volume d'eau diminuera.

193. *Si la grossièreté du gravier est constante, & que le volume d'eau diminue, la pente augmentera.*

Car la résistance est constante, & la force est moindre par la diminution de la masse. Donc il faut, pour l'équilibre, que cette force se rétablisse par l'augmentation de vîtesse: or (170), la vîtesse ne peut augmenter que par la pente; donc la pente augmentera.

Conséquences qui en résultent.

194. Donc, 1°. *si l'on saigne une rivière, la pente en aval doit augmenter.* Car alors le volume d'eau diminuera, & par le n. précédent la vîtesse doit augmenter ainsi que la pente.

2°. *Si dans ce même cas la pente reste constante, la vîtesse doit diminuer.* Car alors les obstacles l'emportant sur la force, agissent avec plus d'énergie. Cela est confirmé par l'expérience des canaux dans lesquels la vîtesse diminue à mesure qu'on en dérive les eaux en plus ou moins grande quantité.

3°. *Si une rivière est trop large, sa pente augmentera.* Cela est évident, puisqu'alors chaque partie de la largeur aura moins d'eau que si le lit étoit plus réduit. Or, dans ce cas la rivière devient la même que si son volume d'eau avoit diminué.

4°. *Une rivière trop large exhaussera son lit.* Car l'augmentation de pente ne peut avoir lieu que par l'exhaussement. D'ailleurs, pour bien se convaincre de cette vérité, qui est essentielle, on n'a qu'à faire attention que dans une rivière trop large, la force diminuant, le courant ne peut plus entraîner les matériaux qu'il entraînoit auparavant : ces matériaux, en se déposant, doivent donc exhausser le lit.

§. II.

De l'action des eaux sur le fond en gravier ; de la corrosion qui s'y exerce, & des moyens de la provoquer & de la modifier.

195. Jusqu'ici nous n'avons considéré qu'en général la pente qui résultoit de l'équilibre entre l'action des eaux & la résistance du fond ; & c'est d'après cela que nous avons conclu (179) que la forme du lit d'une rivière suivroit la loi d'une courbe assymptotique. Cette résistance de la grossièreté des matières du fond, est un des moyens dont la nature s'est servie pour modérer, à chaque pas, l'effet de l'accélération : mais outre ce moyen, elle en emploie un autre incomparablement plus efficace, & auquel il paroît que jusqu'à présent on n'a pas fait assez d'attention.

Les eaux superficielles éprouvent une accélération.

En effet, si l'on suppose l'équilibre exact entre l'action des eaux du volume d'équilibre & la résistance du fond, il est visible que le moindre accroissement d'action qui résultera d'une légère augmentation de vîtesse, détruira cet équilibre & bouleversera le fond. Or, c'est ce qui arriveroit habituellement ; car les eaux de la superficie se ressentent peu, en général, de la résistance du fond, sur-tout pour peu de profondeur qu'ait la rivière. Dans ce

cas, ces eaux s'accélérant, procureront, par leur adhésion & leur viscosité naturelles, aux eaux inférieures, une augmentation de vîtesse & de force qui, l'emportant sur la résistance des matières du fond, détruira l'équilibre précédemment établi, & mettra tout en mouvenment par un déplacement général. Suivons donc les progrès de cette accélération, & voyons de quelle manière la nature la détruit.

L'équilibre exige des gouffres. Fig. 11.

196. Soit AB (fig. 11) un des plans inclinés qui forment les élémens de la courbe générale assymprotique du lit (179). Supposons qu'au point A il y ait équilibre entre l'action des eaux & de la résistance du fond composé, ainsi qu'il a été dit (165), de galets de toutes sortes de grosseur au-dessous d'un volume déterminé. Divisons la ligne AB en petites parties telles que AD, DE, EF, FG, GH, &c., les eaux superficielles, en s'accélérant librement, procureront (195) à la masse, une augmentation de force d'un degré en D, de deux en E, de trois en F, de quatre en G, de cinq en H, &c. Par conséquent cette force, en s'accroissant, enlèvera en E les matières les plus légères, en F des matières un peu plus pesantes que les précédentes, & ainsi de suite. Or on sent qu'à la suite de cette accélération la force du courant deviendra assez grande pour, qu'à un point quelconque H, non seulement il ne reste plus au fond que les plus gros galets, mais encore que ces mêmes galets ne puissent pas lui résister & qu'ils soient eux-mêmes entraînés. Alors la rivière est dans le même cas qu'un torrent qui descend d'une montagne & auquel les matières du fond ne peuvent point résister, & par conséquent (110) la ligne du fond KL s'approchera toujours plus de la verticale, ou s'éloignera toujours davantage de la direction de AB; mais le courant ne peut pas continuer sa route suivant la direction de KL dont le prolongement entre dans le globe comme sécante, & il faut de nécessité qu'il revienne à la surface de la terre sur la ligne AB; il ne peut pas y arriver par l'horisontale LN, puisqu'à raison de la grande obli-

quité de KL, la destruction de force, par la résistance de LN, seroit très-petite, & que les matières qui y seroient répandues ne pourroient pas lui résister : encore moins pour cette même raison n'y peut-il pas parvenir par la ligne inclinée LP. Donc il ne peut revenir sur AB que par la ligne en contrepente LM qui détruira sa vîtesse de manière qu'en M elle sera la même, ou à peu près, qu'en A. Au point M la même accélération qui a déjà eu lieu en A agira sur la partie MQ de la même manière qu'elle a agi sur AK, & ainsi de suite. Or puisque LM est en contre-pente, le point L est plus bas que le point M. Donc KLM forme un gouffre. Donc *l'équilibre dans les rivières exige que par intervalles il se creuse des gouffres qui détruisent la plus grande partie de la vîtesse acquise par l'accélération des eaux de la superficie.*

197. Cette proposition est amplement prouvée par l'expérience. Qu'on parcoure toutes les rivières qui charient du gravier, par-tout on observera ces gouffres creusés de distance en distance, avec diverses modifications, à la vérité, mais qui tiennent aux localités & qui n'altèrent en aucune manière le principe. Jamais au contraire on ne rencontrera de lit dont le fond forme un plan incliné ou une courbe sans interruption. La chose est sur-tout sensible dans les branches des rivières qui restent à sec après une crue. On y voit ces gouffres remplis d'eau; ce qui prouve leur contrepente: car sans cette raison il est visible que cette eau stagnante se seroit écoulée. Preuve tirée de l'expérience.

198. *La profondeur des gouffres est plus ou moins grande suivant la profondeur d'eau & la pente des rivières* La profondeur des gouffres dépend de celle du courant & du degré de pente. Fig. 11.

1°. L'accélération sera d'autant plus forte que la profondeur & la pente de la rivière seront plus considérables. (195) Donc la force étant alors plus grande, KL s'écartera davantage de la ligne AB, & (110) s'approchera davantage de la verticale KR.

2°. Puisque (196) la ligne de contre-pente LM détruit la force d'accélération, elle doit être assez longue pour recevoir le choc de tous les filets qui coulent sur KL depuis le fond

jusqu'à la superficie de l'eau ; la longueur sera donc, toutes choses d'ailleurs égales, proportionnelle à la profondeur des eaux.

Cela posé, il est visible que dans le triangle KLM le point L s'éloignera d'autant plus de KM que ML s'allongera davantage, par le rapprochement de KL, de la verticale KK. Donc la profondeur des gouffres suivra la loi ci-dessus ; ce qui est conforme à l'expérience ; car dans les petites rivières les gouffres n'y sont pas aussi profonds que dans les grandes, toutes choses d'ailleurs égales.

La distance des gouffres suit la raison inverse de la pente. Fig. 11.

199. *La distance d'un gouffre à l'autre sera, toutes choses égales, d'autant plus petite ou plus grande, que la pente sera plus ou moins considérable.*

1°. Plus la pente sera grande, plus l'accélération des eaux de la superficie sera rapide. Donc plus AK sera petite.

2°. Au contraire moins la pente sera grande, plus l'accélération des eaux superficielles sera petite, & conséquemment plus AK sera considérable.

Tout cela est conforme à l'expérience.

Variations de la grossièreté des matières d'un gouffre à l'autre. Fig. 11.

200. De la proposition du n. 196 il suit que *la grossiereté des matériaux du fond doit augmenter progressivement en avançant du gouffre d'amont vers le gouffre d'aval.*

Car nous avons vu que le courant enlevoit continuellement les matières les moins pesantes sur les espaces AD, DE, EF, &c. jusqu'à ce qu'il ne reste plus que les matières les plus grossières.

Variations de la vîtesse des rivières d'un gouffre a l'autre.

201. La vîtesse du courant s'accélère depuis A jusqu'à L, ainsi que nous l'avons vu (196), & elle se détruit sur LM. Donc la vîtesse des rivières n'est point uniforme ; elle varie continuellement depuis la sortie d'un gouffre jusqu'à la sortie de l'autre. *La plus grande vîtesse est donc à l'entrée d'un gouffre, & la moindre est à sa sortie.*

202,

202. Il suit de-là que *les gués des rivières doivent se trouver à la sortie d'un gouffre*; car les endroits guéables sont ceux où la vîtesse du courant est la moindre possible. Or, cela arrive particulièrement au sortir des gouffres, quoique souvent la profondeur y soit assez considérable. Au surplus, les localités en offrent souvent d'autres, où les eaux s'étendant sur une superficie considérable, perdent une grande partie de leur vîtesse.

En quels endroits les rivières sont guéables.

203. La vîtesse d'une rivière variant continuellement, si l'on se sert des corps flottans pour la mesurer, on ne pourra avoir que la vîtesse moyenne des eaux de la surface sur l'espace parcouru par ces corps. Si l'on emploie le quart de cercle, on sent combien il seroit souvent embarrassant pour l'établir. Par conséquent, de toutes les machines proposées par les auteurs, nous ne voyons guères que le tube de Pitot, dont on puisse commodément faire usage pour cet objet : il satisfait à tout, & il est très-aisé à manier dans le courant : ce n'est pas néanmoins qu'il n'ait quelques inconvéniens; mais quel est l'instrument de ce genre qui n'en a pas? D'ailleurs, ils sont si peu de chose, que ce n'est pas la peine de s'y arrêter, sur-tout sur un objet de cette nature.

Instrumens pour mesurer la vîtesse des eaux.

204. La construction & l'usage de la machine de Pitot sont décrits fort au long dans les mémoires de l'Académie des sciences de l'année 1732. Le principe qui lui sert de base est que la vîtesse de l'eau doit être regardée comme celle acquise par la chûte d'un corps le long d'un plan incliné, & que d'après la théorie des graves, l'eau animée de cette vîtesse doit remonter à la hauteur d'où elle auroit dû tomber pour l'acquérir.

Description & usage de la machine de Pitot.

Pour rendre cette machine plus usuelle, nous en conserverons le fond; mais nous y ferons quelques changemens qui la rendront plus simple & plus commode.

AHGLKB (*fig.* 12) est un prisme triangulaire droit à faces égales d'environ 6 pouces de largeur & d'une hauteur qui excède

d'environ un pied la profondeur des eaux de la rivière ſur laquelle on doit l'employer. Il ſera percé ſuivant ſon axe d'un trou cylindrique d'environ deux pouces & demi de diamètre, pour recevoir la pièce cylindrique CD de même calibre, deux fois plus longue que le priſme & armée à ſon extrêmité inférieure d'un ſabot en fer DE par le moyen duquel on puiſſe l'arrêter ſolidement au fond de la rivière dans l'endroit où l'on voudra opérer. Sur une de ſes faces latérales, le priſme portera trois vis F, à l'aide deſquelles on l'arrêtera le long du cylindre CD à la hauteur qu'on voudra.

Sur la face GHKL on pratiquera deux rainures égales paralèlles entr'elles & aux arêtes du priſme. Elles ſeront deſtinées à recevoir & à loger les deux tubes de verre MN, PQ. Ces tubes ſeront à quelques pouces près de même longueur que l'arête HK du priſme. PQ ſera droit & couvert par les deux bouts ; mais l'extrêmité inférieure de MN ſera courbée en quart de cercle & évaſée en entonnoir NRS.

Ces deux tubes auront environ un pouce de diamètre intérieur : ils ſeront enchaſſés & ſolidement arrêtés dans les deux rainures ci-deſſus, de façon que l'extrêmité Q & le centre de l'ouverture RS de l'entonnoir ſoient ſur la même ligne de niveau & que le plan qui paſſe par l'axe, tant du tube MN que de la partie évaſée NRS ſoit perpendiculaire à la face GHKL du priſme.

Cette même face, à partir de la ligne de niveau qui paſſera par l'extrêmité inférieure du tube PQ, ſera diviſée ſur ſa hauteur, en pieds, pouces & lignes.

Tel eſt à-peu-près l'inſtrument de Pitot. En voici l'uſage.

Quand on voudra meſurer la vîteſſe des eaux d'une rivière à un endroit déterminé, on fera placer la pièce CD en cet endroit, & on l'arrêtera au fond par le moyen du ſabot DE. On aura ſoin que celui qui la ſoutiendra, la tienne à plomb. On fera deſcendre le priſme juſqu'à ce que l'extrêmité Q

du tube droit ſoit à la profondeur à laquelle on veut opérer, & alors on la fixera au cylindre CD par le moyen des vis F : enſuite, on dirigera l'inſtrument de manière que la face GHKL ſe préſente perpendiculairement à la direction du courant, & que l'eau entre directement dans l'entonnoir NRS du tube MN.

Tout étant ainſi diſpoſé, il eſt viſible 1°. que l'eau ſe mettra de niveau dans le tube droit PQ avec celle du courant; 2°. que s'engouffrant dans l'entonnoir NRS, elle remontera au-deſſus de ſon niveau dans le tube MN; 3°. que cet excès d'élévation ſera la hauteur due à la vîteſſe dont il eſt l'effet. On prendra donc cette différence de hauteur ſur les diviſions de l'inſtrument, & on aura la hauteur due à la vîteſſe des eaux en cet endroit.

Nommons v la vîteſſe acquiſe par la chûte d'un corps, & h la hauteur de la chûte. Par la théorie de la deſcente des corps peſans (101); on a $v = \sqrt{60h}$; c'eſt-à-dire, que la vîteſſe acquiſe par la chûte, le long de la hauteur h, ou l'eſpace parcouru d'un mouvement uniforme, dans une ſeconde, & évalué en pieds, ſe trouve, par la racine quarrée de la hauteur, auſſi évaluée en pieds, & priſe ſoixante fois.

Suppoſons donc qu'on trouve, ſur les diviſions de l'inſtrument, cet excès de hauteur d'eau dans les deux tubes $= 3$ pouces $= \frac{1}{4}$ pied, on aura la vîteſſe $v = \sqrt{60\frac{1}{4}} = \sqrt{15} = 4$ pieds, à très-peu de choſe près.

Du reſte, nous le répétons, cet inſtrument peut être perfectionné; mais en attendant mieux, on peut s'en ſervir ainſi que nous venons de le dire.

205. La pente des rivières n'eſt pas plus uniforme que la vîteſſe : elle eſt, comme on a vu (196), par reſſauts. Cependant il y a une pente générale qui ſe rapporte conſtamment à la ligne AB (*fig.* 11), & c'eſt celle qu'on doit prendre pour la

pente de la rivière, dans une partie déterminée de son cours. Pour l'avoir exactement, on doit prendre pour les termes extrêmes du nivellement qu'on fera à cet effet, la superficie au sortir de deux gouffres ; il faut même avoir soin de choisir deux gouffres qui ne soient pas consécutifs, mais éloignés le plus possible l'un de l'autre, & au moins d'environ 400 toises : cette pente ainsi déterminée, sera la pente réduite de la rivière dans cette partie de son cours.

La courbe assymptotique du fond sera dentelée par les gouffres.

206. Si l'on applique à la courbe assymptotique du cours général d'une rivière ce que nous venons de dire au sujet des gouffres que l'équilibre exige, on verra que cette courbe doit être dentelée dans sa longueur & à des intervalles plus ou moins grands, selon qu'on s'éloignera plus ou moins de la source (199). Cela confirme toujours mieux ce que nous avons dit plus haut sur l'impossibilité de trouver une équation générale qui embrasse toute la théorie des rivières, & sur la nécessité de se borner à des approximations.

Les gouffres disparoîtront pendant les crues. Fig. 11.

207. S'il survient une crue, d'une part, les eaux charieront du gravier, & combleront le gouffre KLM (*fig.* 11.); & de l'autre, leur force augmentant, elles écorneront & corroderont les parties saillantes M à l'issue des gouffres, comme étant les plus exposées & les moins soutenues : alors l'équilibre sera par-tout rompu, & le fond sera dans un mouvement général ; mais la crue finie, les gouffres reparoîtront au même endroit ou ailleurs, suivant les circonstances ; l'équilibre se rétablira dans les entre-deux, & tout reprendra une forme stable jusqu'à la crue suivante.

C'est aussi ce que l'expérience prouve. Car dans les crues on ne remarque plus aucun vestige de gouffre. On entend très-distinctement les galets rouler, preuve bien sensible & de la rupture de l'équilibre & du désordre qui règne au fond. Mais après la crue tous ces mouvemens cessent, & les gouffres se rétablissent.

208. Nous avons vu dans le paragraphe précédent que la groſſièreté des matières qui compoſent le fond eſt toujours relative à la maſſe d'eau d'équilibre & à la pente. D'un autre côté, nous venons de dire que dans les crues toutes les matières ſont en mouvement. Suppoſons que le haſard ou la main de l'homme ait jetté dans un endroit déterminé du lit une pierre d'un volume beaucoup plus conſidérable que les plus lourdes qui ſe trouvent en cet endroit par l'effet de l'équilibre, & examinons ce qu'elle deviendra dans une crue. On verra dans la ſuite lorſque nous traiterons des digues, que cette queſtion a ſon utilité.

Quelles ſont les pierres qui ne ſeront pas entraînées par le courant.

Cette pierre perdant dans l'eau autant de ſon poids que pèſe un pareil volume d'eau, n'aura plus que ſon poids relatif. Si ſa figure eſt propre au mouvement & que le poids relatif ne ſoit pas fort conſidérable, elle ſera entraînée juſqu'à l'endroit où le courant en s'étendant perdra de ſa vîteſſe & de ſa force. Alors les eaux correſpondantes franchiſſant cette pierre, l'affouilleront en aval, & enfin la pouſſeront dans cet affouillement. Dans ce cas, ſi elle n'eſt pas trop volumineuſe, elle diſparoîtra entièrement. Si au contraire, elle paroîtra en partie au-deſſus de la ſurface du fond. Mais ſi elle étoit d'une forme qui ne fût aucunement propre au mouvement, ou ſi elle étoit d'un volume déméſurément grand, elle ſeroit affouillée & enterrée ſur la place, & elle diſparoîtroit entièrement ou ſeulement en partie ſuivant ſa groſſeur, ainſi que dans le premier cas.

C'eſt ce qui arrive journellement, ſoit aux gros quartiers de pierres dont on conſtruit les digues, ſoit à ceux qui tombent du penchant d'une montagne dans le lit d'une rivière qui paſſe à ſon pied, ſoit enfin à ceux que les grands torrens y charient. On peut obſerver qu'ils juſtifient tout ce que nous venons de dire.

Juſqu'ici nous avons parlé des corroſions naturelles exercées

ſur le fond : nous allons à préſent parler des corroſions artificielles ou provoquées par des ouvrages d'art.

Un rétréciſſement devroit abaiſſer le lit juſqu'à la ſource. Fig. 13.

209. Soient AB (*fig.* 13) le lit d'une rivière dont la pente ſur cet eſpace eſt AC. Suppoſons un rétréciſſement en D ; d'après ce que nous avons dit (192), le lit prendra la poſition EB en aval du point D : dans ce cas, les eaux en amont de D auront une pente = DE de plus qu'elles n'avoient auparavant. Donc (180) la groſſièreté du gravier devroit alors augmenter ; mais (190) par hypothèſe, cette groſſièreté eſt conſtante : donc la maſſe des eaux en amont étant conſtante, ainſi que la réſiſtance du fond, la vîteſſe doit y diminuer. Or, elle ne peut diminuer (170) que par la diminution de la pente : donc, à la rigueur, le nouveau fond A'E devroit avoir moins de pente que le fond primitif AD, & par conſéquent *la rivière devroit abaiſſer ſon lit en amont juſqu'à ſa ſource.*

Raiſons pour leſquelles l'abaiſſement n'aura lieu que juſqu'à une certaine diſtance en amont.

210. Cependant il ne faut pas abuſer des principes ; la raiſon nous fait ſentir que cet abaiſſement doit avoir un terme. En effet :

1°. Quoique (178) la groſſièreté du gravier doive être regardée comme conſtante au même endroit, cependant, comme (165) ce gravier eſt compoſé de galets de toutes groſſeurs au-deſſous d'un volume déterminé, on ſent que la force du courant en augmentant, entraînera toutes les matières les moins volumineuſes, & qu'alors le fond étant compoſé des plus gros galets, exercera la même réſiſtance que ſi la groſſièreté du gravier avoit augmenté.

2°. Nous venons de voir (196) que pour détruire cet excès de vîteſſe la nature provoque par intervalles des gouffres en contre-pente. Ces gouffres auront donc lieu ſur le nouveau fond quel qu'il ſoit d'ailleurs.

Par conſéquent, d'après ces raiſons, *le nouveau fond ne ſera point EA', mais EA qui rencontrera la ligne BA du premier en un point A pris à une certaine diſtance en amont du point*

D du rétréciſſement ; diſtance d'autant plus grande que la pente ſera moindre.

211. L'on voit évidemment qu'un pareil changement de pente dans la partie AB du lit ne peut s'opérer ſans corroſion ~~ſur le~~ fond. Or, par ce que nous venons de voir, (192, 209 & 210) il eſt clair que le nouveau fond rencontrera beaucoup plutôt l'ancien en aval qu'en amont du point D ; puiſque dans le premier cas les lignes DB & EB concourent naturellement, tandis qu'il n'en eſt pas de même de DA & EA. Donc *la corroſion du fond opérée par l'effet du rétréciſſement d'une rivière ſe fera ſentir plus loin en amont qu'en aval.*

La corroſion du fond, occaſionnée par un rétréciſſement, s'étendra davantage en amont qu'en aval.

212. Ce que nous venons de dire à ce ſujet eſt juſtifié par l'expérience.

Preuves tirées de l'expérience.

1°. Par-tout où l'on a conſtruit des ponts qui ont rétréci le lit des rivières, on peut voir qu'on a forcé le courant à creuſer d'autant plus que le lit ſe trouve plus rétréci. Il y en a des exemples ſans nombre ; mais nous ne citerons que le pont conſtruit ſur la rivière d'Iſſolle, à Saint-André, dans le département des Baſſes-Alpes. Ce pont ayant réduit aux deux tiers la largeur du lit de la rivière, a forcé le courant à creuſer plus de trois pieds ; & , en même tems, cette corroſion s'eſt fait ſentir à environ 400 toiſes en aval, & à plus de 1000 toiſes en amont, quoique la pente y ſoit d'environ 9 pieds ſur 100 toiſes.

2°. Le lit du Verdon à Caſtellanne dans le même département, a été pareillement réduit par une digue. Il en eſt encore réſulté une corroſion conſidérable & qui s'eſt étendue beaucoup plus en amont qu'en aval.

Ainſi la théorie & l'expérience prouvent qu'*en reſſerrant le lit d'une rivière à un endroit déterminé, le courant corrode le fond ; que cette corroſion s'exerce en amont & en aval, mais plus loin en amont qu'en aval.*

Effets produits par un radier construit à un rétrécissement. Fig. 14.

213. Si par l'effet d'un rétrécissement en D (*fig.* 14.) le courant doit creuser sur l'espace AB, & établir le fond suivant la ligne AEB, & qu'on barre le lit par un radier EFGH, nous disons :

1°. Que *le nouveau fond en amont ne pourra pas s'établir au-dessous de la ligne AF qui passe par le couronnement du radier.*

2°. Qu'*en aval le nouveau fond s'établira sur EB de même que s'il n'y avoit point de radier.*

3°. Qu'*il y aura par conséquent une cascade GH.*

La première partie est évidente : car si l'équilibre exigeoit la pente de AE pour s'établir, à plus forte raison s'établira-t-il sous la pente de AF moindre que celle de AE.

On se convaincra de la seconde partie, en faisant attention que le courant ne s'établit sur EB, dont la pente est moindre que celle de DB, que parce que la force augmente, & qu'à raison de cela, les plus petits galets étant entraînés, ainsi que nous avons dit (210) que la chose avoit lieu sur AE, la résistance dépend, à la rigueur, en partie de l'augmentation de grossièreté du gravier : elle doit donc dépendre aussi de la longueur de EB sur laquelle ces galets sont disséminés. Or, si nous menons, par le couronnement du radier, la ligne GB' parallelle à HB, elle sera plus courte que cette dernière. Donc elle ne suffira pas à l'équilibre. Par conséquent elle doit s'abaisser au-dessous & prendre la position EB, la seule dont la longueur lui convienne pour l'équilibre.

Quant à la troisième partie, elle devient évidente par les deux autres. Car AF étant plus haute que EB, le courant doit éprouver une cascade en GH.

Preuve tirée de l'expérience.

214. Ce que nous venons de dire est prouvé par l'expérience. Le pont du Verdon à Vinon, sur les limites des départemens du Var & des Basses-Alpes, a été construit sur un rocher dans lequel on a creusé le lit de la rivière. Ce lit ayant été réduit

par

par le pont, le rocher ſervant de radier auroit dû être arraſé à la profondeur de la corroſion qui devoit avoir lieu, tandis qu'il ne l'a été qu'à la profondeur de l'ancien lit : auſſi en eſt-il arrivé qu'il y a eu une caſcade conſidérable à l'iſſue du rocher; que le lit en aval s'eſt ſenſiblement abaiſſé, & qu'il n'eſt ſurvenu aucun changement en amont.

215. Il ſuit de la propoſition du n. 213, que *ſi l'on veut mettre à l'abri des affouillemens d'une rivière des édifices, des ponts, &c. conſtruits ſur ſon lit, il ſuffira de barrer ce lit par un radier placé en aval à une hauteur convenable.* Car le courant ne pouvant pas s'abaiſſer au-deſſous de la ligne AF, il eſt viſible que ſi les baſſes fondations des ouvrages qu'on veut défendre ſont inférieures à cette ligne, elles ſeront à l'abri de tout affouillement.

Emploi des radiers pour préſerver de la corroſion les ouvrages d'art en amont.

216. Ces ſortes d'ouvrages ſont eſſentiels dans une infinité de cas, & ſur-tout dans la conſtruction des ponts. Dans ce dernier cas, on voit qu'il eſt à propos de tracer le radier ſur la tranſverſale qui joint les ouvrages extérieurs en aval des piles : alors il mettra à couvert de la corroſion les fondations de tous les travaux, ce qui pourra diminuer conſidérablement les frais de conſtruction. Il faut néanmoins en excepter les affouillemens qui ont lieu aux arrières-becs, & qui tiennent à un mouvement de turbination produit par la réunion des courans en aval des piles. Cependant, quoiqu'étrangers à la corroſion directe, ces affouillemens peuvent être prévenus en donnant au radier une largeur ſuffiſante pour aboutir juſqu'au parement d'aval du pont; car alors, ne préſentant à l'action des eaux qu'une ſurface incorroſible, il eſt clair que ces affouillemens n'auront pas lieu.

Utilité des radiers dans la conſtruction des ponts.

Au ſurplus, dans tous les cas, ſi la rivière eſt navigable ou flottable, on doit placer le radier à la profondeur convenable pour qu'il n'y ait pas de caſcade à ſon iſſue (213) : car on ſent

combien les cascades sont nuisibles à la navigation & à la flottaison.

Dans les rétrécissemens, la profondeur de la corrosion est en raison inverse de la largeur des rétrécissemens.
Fig. 14.

217. *Si l'on rétrécit le lit d'une rivière, la profondeur de la corrosion sera d'autant plus grande, que la rivière sera plus resserrée.*

Pour le démontrer, supposons que la rivière ait essuyé au même endroit D deux rétrécissemens consécutifs, dont le second soit plus fort que le premier, & que par l'effet du premier le fond en aval ait pris la position EB : nous allons voir qu'à la suite du second, la nouvelle position E'B" sera inférieure à EB.

Les observations que nous avons faites (209) sur la grossièreté des galets & les gouffres du nouveau fond AE en amont, doivent visiblement s'appliquer au nouveau fond EB en aval. Donc, puisque par hypothèse il y a augmentation de force dans le nouveau rétrécissement, il doit y avoir aussi, pour la détruire, une augmentation d'obstacles. Mais, d'une part, lorsque la grossièreté des galets sera parvenue à son *maximum*, elle s'arrêtera; & de l'autre, la pente de E'B" devant (192) être moindre que celle de EB, il y aura (199) moins de gouffres sur E'B" que sur EB : donc cette augmentation d'obstacles ne peut avoir lieu que par une augmentation de longueur du nouveau fond : ce nouveau fond E'B" sera donc plus long que EB à proportion de l'augmentation du rétrécissement. Or, si ce nouveau fond tomboit sur EB ou supérieurement, il seroit seulement égal ou moindre en longueur : donc il doit tomber au-dessous & prendre la position E'B". Par conséquent DE' sera plus grande que DE; & elle sera d'autant plus grande, que E'B" sera plus longue ou que la rivière sera plus rétrécie en D.

La chose est d'ailleurs évidente par l'expérience. Car par-tout où l'on a inégalement rétréci le lit d'une rivière, on s'est constamment apperçu que la corrosion du fond étoit assez généralement en raison inverse de la largeur qu'on laissoit au courant.

218. Pour opérer la corrosion dont nous parlons, les eaux d'équilibre (89. 2°) suffiroient; mais c'est particulièrement dans les crues qu'elle s'effectue : car par le moyen du moindre rétrécissement, la plus petite crue équivaut à une crue beaucoup plus forte, par l'augmentation de profondeur qu'elle procure aux eaux; & l'on sait, par ce qui précède, que c'est particulièrement dans les fortes crues que les eaux travaillent le fond.

La corrosion s'opère sur-tout pendant les crues.

C'est encore ce que l'expérience confirme; car, dans les exemples que nous avons rapportés (212) sur les rivières d'Issole & de Verdon, on a donné une largeur sensiblement plus grande que celle qu'il convenoit de donner aux eaux d'équilibre. Cependant, ces rivières n'ont pas laissé de corroder le fond & d'abaisser leur lit. On peut faire la même observation sur les divers ponts auxquels on a donné plus d'ouverture qu'il n'en faut aux eaux d'équilibre.

219. *Si l'on resserre le lit d'une rivière un peu au-dessous du point B où la corrosion opérée par un premier rétrécissement en D cesse, le courant entretiendra la première & la propagera en aval.*

La corrosion du fond se propagera par des rétrécissemens consécutifs. Fig. 14.

Cela est évident, puisque, toutes choses d'ailleurs égales, les mêmes causes produisent les mêmes effets.

220. Il suit de-là, 1°. que *Si l'on veut réduire une rivière, & la forcer à creuser sur une certaine longueur, il suffit d'en rétrécir le lit par intervalles, & aux endroits où la corrosion produite par le rétrécissement voisin cessera.*

Donc les rétrécissemens par intervalles réduiront le lit des rivières.

2°. Que par conséquent *la réduction du lit d'une rivière n'a pas besoin d'ouvrages continus.*

Ces conséquences sont essentielles; car on verra bientôt qu'elles faciliteront beaucoup les ouvrages d'art qu'on est obligé d'exécuter pour contenir les rivières, & qu'elles diminueront infiniment les frais de construction. Nous allons entrer dans quelques détails à ce sujet.

Quels sont les élémens qui déterminent la largeur des rétrécissemens.

221. En rétrécissant le lit d'une rivière, il est démontré (217) que moins on lui donnera de largeur, plus elle creusera. Par conséquent, comme il est très-avantageux que ce lit soit le plus profond possible, il semble, au premier abord, que le rétrécissement devroit être aussi le plus fort possible : mais dans la pratique, la chose est inadmissible, & ce rétrécissement doit avoir des bornes. En effet, la largeur du lit doit être telle que les eaux des plus grandes crues puissent passer librement. D'ailleurs, l'objet qu'on a en vue, en forçant une rivière à creuser, est de mettre les propriétés riveraines à l'abri des inondations. Or, pour cela, il faut en général peu d'augmentation de profondeur dans les rivières dont nous parlons. Ainsi, jusques-là il paroît qu'il vaut mieux donner plus que moins de largeur aux rétrécissemens. Cependant, d'un autre côté, nous verrons bientôt que si l'on donne trop de largeur, la rivière serpentera ; qu'elle se divisera en plusieurs branches ; qu'on ne garantira qu'imparfaitement les domaines riverains, & que, par conséquent, on n'atteindra pas l'objet qu'on se propose.

En pesant toutes ces considérations, il paroît que le volume d'eau, dans les plus grandes crues, est le principal élément qui doit fixer la largeur des rétrécissemens. C'est donc sur ce volume qu'on la règlera, & c'est sur la profondeur que ces eaux doivent avoir en ces endroits, qu'on déterminera la hauteur des ouvrages, afin qu'ils ne soient pas franchis. Par conséquent, tout est subordonné aux observations à faire à cet égard sur les rivières sur lesquelles on se propose d'opérer.

§. III.

Des variations des Rivières à fond de gravier, & de leur action sur les bords.

Les rivières tendent à suivre la ligne droite.

222. *Les rivières tendent à suivre la ligne droite.*

Cette proposition n'est que le principe du n. 105 1°. Ainsi, il

n'a pas besoin de démonstration. Nous en concluerons seulement, que lorsqu'elles serpentent ou qu'elles changent de direction, c'est parce que ces effets sont provoqués par des causes particulières que nous allons examiner.

223. Nous avons démontré (194 4°.) que lorsque le lit d'une rivière est trop large, il s'exhausse : cet exhaussement, produit par les dépôts de gravier que la rivière ne peut plus charier parce qu'elle perd sa force en s'étendant sur une trop grande largeur, rendra le lit convexe & bombé vers son milieu ; il sera donc plus bas vers les bords. Or (105 2°.), un courant tend toujours à s'établir aux endroits les plus bas : donc, *lorsqu'une rivière aura trop de largeur, elle se portera vers les bords.*

Si le lit est trop large, le courant se portera vers les bords.

224. Dans les siècles passés, on croyoit qu'il falloit donner à une rivière la plus grande largeur possible pour faciliter le passage des eaux. Il existe encore un concordat passé entre la France & la cour de Rome, qui porte qu'entre la ci-devant Provence & le ci-devant comté Venaissin, le lit de la Durance ne pourroit pas avoir moins de 300 toises de largeur. On avoit les mêmes idées sur toutes les rivières, & l'on y rapportoit les ouvrages que l'on construisoit sur ces mêmes rivières. C'est ainsi qu'à Digne on a construit, sur la rivière de Bléoune, un pont qui a trois fois plus d'ouverture qu'il ne lui en faut : aussi, partout les rivières ont exhaussé leur lit, & se sont portées vers les bords, ainsi que nous venons de voir que la chose devoit avoir lieu.

Les anciens donnoient toujours trop de largeur aux rivières.

225. Les bords sur lesquels les rivières dont nous parlons se porteront, pourront être :

Quelle est la nature des bords d'une rivière.

1°. En gravier ; 2°. en terre & gravier ; 3°. en terre ; 4°. en roches.

Ils ne seront qu'en gravier, lorsque le courant se renfermera dans le lit majeur (90) : car (154), dans ce cas, le lit n'est composé que de gravier.

53241

Ils feront en terre & gravier, lorfque (155) le lit majeur fera borné par des domaines gagnés aux dépens de la rivière : alors le gravier fera deffous, & la terre lui fera fuperpofée.

Ils feront en terre fans gravier au-deffous, lorfque le lit de la rivière fera borné par des domaines qui n'en auront jamais fait partie.

On doit dire la même chofe des bords en roches.

Dans les trois premiers cas, les bords feront plus ou moins corrofibles ; mais ils ne le feront aucunement dans le quatrième. Nous allons voir de quelle manière le courant agira fur eux.

La corrofion d'une berge fera en raifon inverfe de l'angle d'obliquité du courant.

Fig. 15.

226. On fent, au premier abord, que fi le courant agit fur une berge corrofible, cette berge fera corrodée; & que, pour cela, il eft néceffaire que le courant fe porte fur elle avec un certain degré d'obliquité. En effet, foit le courant ABCD (*fig.* 15.) qui fe porte fur la berge KH fous l'angle oblique ABK; repréfentons par EF la force d'un filet quelconque, & abaiffons la perpendiculaire EG fur la direction de la berge KH, la ligne GF exprimera l'action de chaque filet fur les parties faillantes de la berge. Quant à EG, fon action ne tend qu'à contenir ces mêmes parties, & ne peut pas contribuer à la dégradation de KH : d'où il eft aifé de conclure que, *toutes chofes d'ailleurs égales, le courant agira avec d'autant plus d'énergie pour détacher & entraîner les parties d'une berge corrofible, que l'angle d'obliquité EFG = ABK fera moindre.*

L'expérience juftifie cette affertion, qui, au premier coup-d'œil, paroît un paradoxe : car ce n'eft jamais à l'endroit où la rivière choque un bord, que les grandes dégradations ont lieu; mais en aval de cet endroit, & lorfque le courant s'eft établi le long de ce même bord.

La corrofion d'une berge fera en raifon directe de la force du courant, & en raifon inverfe de la tenacité des matières.

227. *Si le courant s'établit le long d'une berge, la corrofion fera d'autant plus rapide que le courant aura plus de force, & que les parties de la berge auront moins de tenacité.*

Car 1°. plus le courant aura de force, plus il agira avec énergie ſur les parties ſaillantes.

2°. Moins les parties de la berge auront de tenacité, moins elles oppoſeront de réſiſtance à l'action du courant.

228. Donc, 1°. *Si le bord ſur lequel le courant agit n'eſt compoſé que de gravier, la corroſion ſera la plus rapide poſſible.* Car les galets du gravier n'ayant point de liaiſon entr'eux, & préſentant beaucoup de parties ſaillantes à l'action de l'eau, ils ſeront plus facilement détachés. Conſéquences qui en réſultent.

2°. *Les terreins gagnés ſur le lit des rivières, ſeront plus expoſés à être emportés.* Car (156) ces terreins portent ſur le gravier.

3°. *Quand même le gravier ſeroit à une très-grande profondeur ſous les domaines riverains, ils ſeront corrodés avec facilité par le courant.* Car ces domaines ont été originairement formés par des dépôts de limon qui eſt toujours plus ou moins mêlé de ſable : or, le ſable diminue l'adhéſion des parties.

4°. *Si les berges ſont compoſees de terres graſſes & viſqueuſes, telles, par exemple, que les terres argilleuſes, elles ſeront moins corrodées.* Car alors les parties qui les compoſent ayant plus d'adhéſion entr'elles, ſe détachent plus difficilement : il peut même arriver que la viſcoſité ſoit telle qu'elles ne ſoient pas entamées, & que le courant ne les endommage aucunement.

5°. *Si les berges ſont en roches ou revêtues de digues, elles ne ſeront point corrodées.* Car, dans ce cas, les parties qui les compoſent ont une adhéſion beaucoup plus forte que l'action du courant.

229. *Lorſque les bords ſeront corrodés, la corroſion formera une ligne courbe.* La corroſion des bords formera une ligne courbe. Fig. 15.

Le courant ABCD tend (105 1°.) à ſe mouvoir ſuivant ſa direction primitive, & à prendre la poſition AB'C'D. Il entamera donc la berge KH, & agira ſur la partie poſtérieure pour ſuivre ſa direction AB'; mais il ſera détourné à chaque pas de

ſa route, par la réaction des matières placées derrière KH; car ces matières céderont en partie; mais en cédant, elles obligeront le courant à changer de direction à chaque point de ſon cours. Or, lorſqu'un corps change à chaque inſtant de direction, il ſuit néceſſairement une ligne courbe: donc le courant ſuivra la courbe quelconque BMNH.

La concavité de la courbe de corroſion ſera en raiſon inverſe de la tenacité des matières. Fig. 15.

230. *La concavité de la courbe de corroſion ſera en raiſon inverſe de la tenacité des matières de la berge corrodée.*

Car (227) plus les matières auront de tenacité, plus elles oppoſeront de réſiſtance, & moins le courant s'enfoncera au-delà de BH. Au contraire, moins cette tenacité ſera grande, moins la réſiſtance ſera conſidérable, & moins le courant ſe détournera à chaque pas de ſa première direction, ou plus il s'enfoncera au-delà de la berge.

Conſéquences de cette propoſition.

231. Donc 1°. *la plus grande courbure aura lieu ſur le gravier.*

2°. *Cette courbure diminuera par degrés ſur la terre, l'argille, &c. ſuivant le degré de viſcoſité de chaque eſpèce de matière.*

3°. Elle s'anéantira ſur le rocher, les digues, &c.

Cela eſt évident par ce qui précède; & d'ailleurs la choſe eſt conforme à l'expérience, ainſi que chacun peut s'en aſſurer.

Le lit d'une rivière ſera corrodé & abaiſſé au pied d'une digue oblique & incorroſible. Fig. 15.

232. Suppoſons la berge oblique KH incorroſible: imaginons le courant ABCD décompoſé en une infinité de filets, tels que AB, *ab*, *cd*, *ef*, *&c.* Le premier filet arrivé au point B, trouvant ſur ſa route un obſtacle inſurmontable KH, s'établira le long de cet obſtacle (105 3°.); le ſecond filet *ab*, rencontrant le même obſtacle, preſſera le premier contre cet obſtacle & prendra la même direction; le troiſième *cd*, arrivé à l'obſtacle, preſſera pareillement les deux premiers, & ſuivra la même route qu'eux; & ainſi de ſuite juſqu'au dernier filet CD. Chaque filet preſſant donc les précédens contre l'obſtacle KH, le courant ſera forcé de s'établir le long de ce même obſtacle. Mais à raiſon de cette preſſion contre l'obſtacle, la largeur du

courant

courant établi le long de KH doit néceſſairement être moindre qu'en AD. Donc (217) *le courant ABCD ayant pris la poſition BCLH le long de la berge oblique & incorroſible KH, corrodera le fond & l'abaiſſera d'autant plus que la largeur de la rivière y ſera moindre.*

Donc une berge oblique & incorroſible attirera le courant.

233. Par la corroſion dont nous venons de parler, il eſt viſible que le nouveau lit BCLH du courant le long de la berge oblique & incorroſible KH, deviendra l'endroit le plus bas. Or (105 2°.), le courant tend toujours à s'établir à l'endroit le plus bas : donc une berge oblique & incorroſible attirera le courant.

Une digue oblique produira le même effet.

234. Suppoſons que la berge dont nous venons de parler ſoit une digue : elle produira le même effet que cette berge ; c'eſt-à-dire, *qu'elle attirera le courant & l'obligera à corroder le fond.* Dans ce cas, ſi la digue n'eſt pas établie au-deſſous de la corroſion qui s'opèrera, elle s'écroulera. La choſe eſt amplement vérifiée par l'expérience, ainſi que chacun peut s'en convaincre.

Raiſon du proverbe des nautonniers : *les roches attirent les eaux.*

235. Les barres de rocher qui bordent ſouvent le lit des rivières, produiſent auſſi le même effet ; c'eſt-à-dire, qu'elles occaſionnent des affouillemens à leur baſe & attirent le courant : car il eſt rare que ces barres ne ſe préſentent obliquement à la direction des rivières. De-là vient le proverbe des nautonniers de rivière : *les roches attirent les eaux.* Ce n'eſt point les rochers qui les attirent, mais leur direction, ainſi que l'on peut le conclure de ce qui précède.

Les berges obliques & incorroſibles ne réfléchiſſent pas le courant.
Fig. 15.

236. Bien des gens prétendent que les berges obliques & incorroſibles, telles que les digues, réfléchiſſent le courant. C'eſt une erreur. Car la réflexion par le choc, ſuppoſe que le corps choquant ou le corps choqué ſoit élaſtique. Or ni l'eau ni les matières qui compoſent les berges, quelles qu'elles ſoient d'ailleurs, n'ont aucune eſpèce d'élaſticité. Donc *les berges obliques & incorroſibles ne réfléchiſſent pas le courant.*

D'ailleurs l'expérience eſt d'accord avec les principes. Qu'on parcoure toutes les digues & les autres obſtacles quelconques obliques à la direction du courant, on n'y rencontrera jamais de réflexion; & s'il arrive que quelquefois le courant abandonne la berge, ce n'eſt qu'à raiſon de quelqu'obſtacle particulier qui ſe trouve en aval & qui occaſionne ce changement de direction.

Comment, d'autre part, une pareille réflexion ſeroit-elle poſſible? Les filets ſe preſſent continuellement les uns les autres contre la berge (232) & par-là s'oppoſent à cet effet, tandis que la pente du lit de la rivière, ſe trouvant dans le ſens de B vers H, le courant réfléchi ſeroit obligé de s'éloigner de l'endroit où cette pente eſt plus forte; ce qui ſeroit contraire au principe établi au n. 105 2°.

Effets produits à l'extrémité d'une digue oblique. Fig. 15.

237. Suppoſons encore que KH ſoit une digue. Le courant, après l'avoir parcouru dans ſa longueur, arrivé à ſon extrêmité H aura la liberté de s'étendre. Alors (194) ſa force diminuant, il y dépoſera les matières enlevées ſur BCLH (232). Ces dépôts apporteront ordinairement des changemens dans ſon cours: le courant ſuivra rarement ſa direction précédente, & il s'en écartera plus ou moins, d'un côté ou de l'autre, ſuivant les circonſtances & les localités; quelquefois il ſemblera ſe réfléchir; d'autrefois il contournera la digue & ſe jettera ſur la partie poſtérieure. Ce dernier cas aura lieu ſur-tout lorſque cette partie ſe trouvera ſenſiblement plus baſſe que le reſte du lit.

Tout cela eſt confirmé par l'expérience, ainſi que chacun peut s'en aſſurer.

Dans un lit trop large, une berge parallèle & incorroſible peut auſſi attirer le courant.

238. *Une berge incorroſible & parallèle à la direction du lit d'une rivière, peut auſſi, dans un lit trop large, attirer le courant.*

Car (223) un lit trop large portant le courant vers les bords, rend ces mêmes bords obliques à ſa direction. Or, alors la berge eſt dans le cas du n. 232.

Première cause de la division des rivières. La trop grande largeur du lit.

239. La trop grande largeur du lit d'une rivière ne porte pas seulement le courant vers les bords, elle occasionne encore la division en plusieurs branches. En effet, un lit trop large n'est jamais assez uni pour que, dans une grande crue, les eaux y aient par-tout la même profondeur. Dans ce cas il y aura, ou au moins il pourra y avoir plusieurs endroits où le courant aura plus de force que dans les autres; alors il creusera aux premiers & déposera aux seconds. La crue finie, les endroits corrodés peuvent l'être assez profondément pour qu'une partie des eaux de la branche-mère s'y détermine & se sépare de la masse. Ainsi la trop grande largeur du lit est la première cause de la division des rivières.

La Durance & toutes les rivières qui ont la liberté de s'étendre, nous en offrent des exemples sans nombre.

Deuxième cause de division. Les arbres, arbrisseaux, &c. chariés par le courant.

240. *Les arbres arbrisseaux &c. chariés par le courant, provoquent la division.*

Car ces corps s'arrêtant dans le lit par quelque accident que ce soit, par exemple, lors de la baisse d'une crue, diminueront la vîtesse du courant, arrêteront le sable & le gravier, & formeront des isles plus ou moins grandes suivant les circonstances.

Troisième cause de division. Les dépôts qui se forment au bout d'une digue oblique.

241. *Les dépôts qui s'arrêtent au bout d'une digue oblique* (237) *occasionnent aussi fort souvent la division du courant.*

Cet effet aura lieu, sur-tout, si la partie postérieure de la digue est basse; car alors, dans une crue, les eaux s'extravasant de tous côtés, se portent sur-tout vers les endroits les plus bas (105 2°.). Or, dans ce cas, la partie ultérieure du lit & la partie postérieure de la digue ont l'une & l'autre beaucoup de pente. Donc il pourra arriver, comme il arrive fréquemment, que les eaux, après la crue, se partagent en cet endroit pour se porter partie d'un côté & partie de l'autre, ainsi que l'expérience le prouve.

Quatrième cause de division. Les grandes crues.

242. *Les grandes crues divisent pareillement la rivière en plusieurs branches.*

La chose arrive par les raisons mentionnées au n. 239.

Cinquième cause de division. Les trop fortes tortuosités.
Fig. 16.

243. Soit la rivière ABDC (fig. 16) qui serpente dans le lit majeur sinueux EBMHIKL, & qui tombe sur la berge EBM en B. Supposons que cette berge soit assez basse pour être franchie par les eaux, dans une grande crue, la pente sera plus forte suivant la droite DQ, que suivant la ligne sinueuse DNQ. D'ailleurs la ligne DQ s'approche plus de la direction primitive CD que la ligne DNQ. Donc (105 1°. 2°.) le courant s'y ouvrira un lit & s'établira en partie sur BDMG. C'est ce qui arrive fréquemment aux rivières dont nous parlons.

Unique moyen de prévenir la division des rivières.

244. *On préviendra la division des rivières en réduisant leur lit & en détruisant les digues obliques.*

Car 1°. la réduction du lit obligera le courant à creuser, augmentera sa force & ne permettra ni à la rivière de s'extravaser, ni aux dépôts de s'y former.

2°. Les digues obliques n'occasionneront ni dépôts ni ricochets, & ne gêneront plus alors le cours des eaux en leur faisant prendre des directions forcées.

Passons aux rivières dont le fond est de sable & de limon.

CHAPITRE II.

Des Rivières à fond de sable & de limon.

§. I.

De la nature & de la pente du lit des rivières à fond de sable & de limon.

245. C'EST par la comparaison que nous avons constamment faite de la force du courant avec la résistance du fond que,

dans le chapitre précédent, nous avons déduit la théorie des rivières à fond de gravier. Il n'y a pas deux principes sur cet objet, & le même nous donnera pareillement, ainsi qu'on va le voir, la théorie des rivières à fond de sable & de limon.

Dans les rivières à fond de sable & de limon, les lits majeur & mineur se confondent.

246. Les rivières dont nous parlons n'admettent point de différence entre le lit majeur & le lit mineur. Ces deux lits n'ont lieu que dans les rivières à fond de gravier, quand elles ont la liberté de s'étendre; au lieu qu'ils se confondent dans celles à fond de sable & de limon, ainsi que l'expérience le prouve constamment.

Distinction entre le *lit naturel* & le *lit factice*.

247. Parmi ces rivières, les unes ont un *lit naturel* & les autres un *lit factice*. Le *lit naturel* est celui que la nature semble avoir creusé, & dont les bords ne paroissent pas être des dépôts des eaux : tel est le lit de la Seine à Paris. Le *lit factice*, au contraire, est celui que la rivière s'est frayé, soit par elle-même, soit le plus souvent par le secours de l'homme, à travers les dépôts laissés par ses eaux : tel est le lit du Rhône à Arles.

Les rivières à fond de sable ont moins de pente que celles à fond de gravier.

248. Nous avons vu (176) que les matières du fond étoient plus ou moins grossières suivant que le degré de pente étoit plus ou moins grand. Donc les rivières à fond de sable auront moins de pente que celles à fond de gravier; ainsi que l'expérience le prouve.

Et celles à fond de limon en ont moins que celles à fond de sable.

249. Donc aussi, d'après le même principe, les rivières à fond de limon auront moins de pente que celles à fond de sable. La chose est prouvée d'ailleurs par l'expérience.

Uniformité de vîtesse dans les rivières à fond de sable & de limon.

250. Nous avons dit (178) & nous avons vu (179), par la forme de la courbe assymptotique du fond, que la pente décroissoit continuellement en avançant vers l'embouchure. Donc l'accélération des eaux superficielles, dont nous avons parlé au n. 195, y sera toujours fort petite. Mais les eaux de la mer leur opposent une résistance qui (1[illegible]3) se fait sentir de proche en proche jusqu'à de très-grandes distances; &, d'autre part,

les eaux presque dormantes, qui sont aux environs des sinuosités, augmentent encore cette même résistance. D'où il résulte que cette double réaction détruit ordinairement l'effet de l'accélération. Par conséquent *les rivières à fond de sable ou de limon doivent en général avoir une vîtesse uniforme ;* & c'est ce que l'expérience justifie.

A l'embouchure le fond ne sera qu'un limon.

251. La plus grande résistance ayant lieu à l'embouchure, dans la mer, ce sera en cet endroit que la vîtesse & la force du courant seront les moindres possibles. D'où il résulte qu'*à l'embouchure* (173) *la pente sera la moindre possible, & que le fond n'y sera que de limon*, ainsi que l'expérience le prouve à l'embouchure de tous les fleuves.

Un fond de sable & de limon est moins variable qu'un fond de gravier.

252. *Un fond de sable & de limon est moins variable qu'un fond de gravier.*

Car un fond de sable & de limon suppose (173) moins de force dans le courant. Or, les causes sont toujours en proportion avec les effets qu'elles produisent.

Dans les crues, la vîtesse est plus forte à l'embouchure, qu'en amont.

253. Quoique (251) la vîtesse du courant soit, en général, moindre à l'embouchure que par-tout ailleurs, il y a néanmoins un cas où elle est plus grande en cet endroit qu'en amont : ce cas est celui des fortes crues. On sent qu'alors les eaux superficielles, étant supérieures au niveau de celles de la mer, auront la liberté d'obéir à l'accélération de cet excès de pente, sans éprouver une grande résistance de la part de ces dernières. Ce qui prouve la chose, c'est que, tant sur le Pô que sur le Rhône, plus on avance vers l'embouchure, plus la hauteur des chaussées, destinées à contenir les eaux des crues, diminue.

§. II.

De l'action des Eaux sur le fond en sable & limon.

Dans ces rivières il n'y aura point de gouffre d'équilibre.

254. Nous avons vu (196) que les rivières à fond de gravier creusoient des gouffres par intervalles, & que ces gouffres étoient

produits par l'accélération des eaux de la superficie (195). Or (250), les rivières à fond de sable & de limon, ont, en général, une vîtesse uniforme, & par conséquent il n'y a point d'accélération à la surface. Donc, dans *les rivières à fond de sable ou de limon il ne se creusera point de gouffre.*

Pour s'en convaincre, par expérience, on n'a qu'à parcourir toutes les rivières en pays en plaine, & dont par conséquent (160 2°.) le fond n'est qu'en sable ou limon; on n'y remarquera jamais aucuns des gouffres mentionnés au n. 166 & qu'on rencontre à chaque pas sur les rivières à fond de gravier. La Seine à Paris nous en fournit un exemple.

255. Dans les rivières à fond de gravier, *si le volume d'eau augmente & que la grossièreté des matières du fond soit constante, la pente diminue* (190).

La grossièreté des matières du fond étant constante, la peute diminuera quand le volume d'eau augmentera.

Il est visible que la chose aura pareillement lieu, & pour les mêmes raisons, dans les rivières à fond de sable ou de limon. Car le degré de grossièreté des matières du fond n'est pas spécifié.

256. Il suit de-là, que tout ce que nous avons dit (192, 209, 221) au sujet des effets produits par les rétrécissemens des lits de rivières à fond de gravier, s'applique littéralement aux rivières à fond de sable & de limon. D'où nous conclurons que, dans ces dernières rivières, si l'on rétrécit le lit à un endroit déterminé,

Conséquences qui en résultent dans le cas des rétrécissemens.

1°. *Le fond baissera en amont & en aval du rétrécissement, par la corrosion.*

2°. *La profondeur de la corrosion sera sensiblement en raison inverse de la largeur du lit.*

257. Il s'ensuit pareillement, que dans ces rivières, *pour baisser le lit sur une étendue déterminée, on n'a besoin que de les resserrer par intervalles, & qu'il est inutile d'y employer des ouvrages continus* (220).

Par des rétrécissemens partiels, on forcera ces rivières à baisser leur lit.

La grossièreté des matières du fond étant constante, la pente augmentera quand le volume d'eau diminuera.

258. On doit encore appliquer à ces rivières ce que nous avons dit (193 & 194) au sujet des effets produits par la diminution des eaux, puisque le degré de grossièreté des matières du fond est indéterminé. Donc, dans les rivières dont nous parlons, *si le volume d'eau diminue, la grossièreté des matières du fond restant la même, la pente augmentera.*

Conséquences qui en résultent.

259. De-là il suit 1°. *que si l'on saigne une rivière de la nature de celles dont nous traitons, la pente augmentera.*

2°. *Que si la pente est constante, la vîtesse diminuera.*

3°. *Que si une rivière est trop large, sa pente augmentera.*

4°. *Qu'une rivière trop large exhaussera son lit.*

Les démonstrations en sont absolument les mêmes qu'aux nos. cités

§. III.

Des variations des rivières à fond de sable & de limon, & de leur action sur les bords.

Si le lit s'exhausse inégalement par des dépôts, le courant se portera à l'endroit le plus bas.

260. Nous venons de dire (259 4°.) que si le lit est trop large, il s'exhaussera. Dans ce cas, si l'exhaussement est uniforme d'un bord à l'autre, le courant ne variera pas; car ces rivières n'ayant pas de lit majeur, les bords ne seront pas alors, comme dans celles à fond de gravier, plus bas que le lit, & par conséquent cet exhaussement ne porteroit pas les eaux sur les berges. Mais si par quelque cause que ce soit, l'exhaussement est irrégulier, le courant s'établira à l'endroit le plus bas & où l'exhaussement sera moindre. Car (105 2°.) les eaux se portent toujours aux endroits les plus bas.

[illegible]

261. A mesure qu'un dépôt commencera à se former dans le lit de la rivière, le courant en cet endroit y devenant moins profond, & par-là même sa force y diminuant, le dépôt s'élèvera toujours plus, jusqu'à ce qu'il paroisse à la superficie des eaux:

eaux : alors il formera une île dans le lit, & cette île sera permanente : car puisque le courant n'a pas eu assez de force pour la détruire dans son principe, on sent bien, qu'à plus forte raison, il ne pourra pas l'anéantir, lorsqu'elle aura reçu tous ses accroissemens.

La Loire & la Seine nous en offrent des exemples sans fin. Toutes les îles dont leurs lits sont parsemés, ne sont dues qu'à leur trop grande largeur primitive ; & l'on ne voit pas qu'aucune de ces îles soit détruite par l'action des eaux, comme le sont journellement celles qui sont formées par les rivières à fond de gravier.

262. Il paroît, d'après cela, que, lorsque ces rivières ont trop de largeur, elles se réduisent, comme d'elles-mêmes, en formant des îles dans leur sein. Mais, en formant ces îles, elles se partagent en diverses branches. Toutes ces branches réunies formeroient un volume d'eau qui auroit plus de largeur & plus de profondeur que celui de chaque branche prise en particulier ; & il est visible que la navigation y gagneroit, au lieu qu'elle perd nécessairement par la division. C'est pour cette raison qu'il est essentiel, dans ces rivières, de provoquer la destruction des dépôts, à mesure qu'ils se manifestent, & d'employer pour cela les rétrécissemens, puisque les dépôts ne proviennent que des excès de largeur.

Ces îles sont nuisibles à la navigation.

263. Dans les rivières à fond de sable & de limon, le courant est ordinairement au milieu. C'est pour cette raison, qu'étant particulièrement affectées à la navigation, on recommande de donner un nombre impair d'arches aux ponts qu'on y construit, à cause qu'alors le courant donnera dans le vuide de l'arche du milieu ; au lieu qu'il donneroit sur le plein d'une pile, si le nombre d'arches étoit pair. Il est rare que le courant quitte le milieu, dans les rivières à lit naturel, comme la Seine ; mais la chose est moins rare dans les rivières à lit factice, comme le Rhône, à la hauteur d'Arles. Dans le premier

Le courant est ordinairement au milieu du lit naturel.

Quelquefois il s'en écarte dans un lit factice.

cas, c'est la nature elle-même qui a établi les bords, & par conséquent c'est la nature qui contient la rivière au fond de la vallée qu'elle lui a assignée : dans le second cas, au contraire, les bords ne sont que des dépôts que la rivière a laissés en se retirant. Or, la cause qui l'a obligée à se retirer, peut aussi la forcer à s'approcher de nouveau des dépôts qui bornent son lit. En effet, ces anciens dépôts se sont formés, dans l'origine, par quelque obstacle qui s'est arrêté dans le lit primitif : or, si quelque nouvel obstacle pareil s'arrête dans le lit actuel, il est visible qu'il s'y formera un atterrissement qui portera le courant sur la berge.

Considérations sur la corrosion des berges.

264. Si le courant s'établit le long d'une berge corrosible, il y aura corrosion, & cette corrosion formera une courbe concave, ainsi que dans les rivières à fond de gravier; mais la concavité n'en sera pas aussi forte ni aussi rapide : car, 1°. il n'y a point de gravier au-dessous des berges, qui ne sont dans ce cas qu'en terre; 2°. la terre qui les compose est moins mêlée de sable, & a par-là plus de tenacité; 3°. le courant a moins de vîtesse & moins de force. Ainsi, pour toutes ces raisons, la courbe qui résulte de la corrosion des berges factices des rivières à fond de sable & de limon, aura moins de concavité & se formera plus lentement, que dans les rivières à fond de gravier.

On a la preuve de ce que nous disons, dans la comparaison des corrosions de la Durance & du Rhône, dans le terroir d'Arles.

265. Tout ce que nous venons de dire au §. III du chapitre précédent, au sujet de l'effet que produisent les digues obliques sur les rivières à fond de gravier, s'applique également aux rivières à fond de sable & de limon; car on a pu voir que la nature des matières du fond n'y entre pour rien.

Venons à présent aux causes qui occasionnent des divisions dans ces rivières.

266. Nous avons déjà vu (261) qu'un lit trop large permettoit aux dépôts de s'arrêter & de former des îles. Ainsi, *la trop grande largeur dans les rivières dont nous parlons, est la première cause de leur division en plusieurs branches.* Les causes de division sont les mêmes pour ces rivières & pour celles à fond de gravier.

267. Les arbres, arbrisseaux, &c. qui s'arrêtent dans le lit, sont la seconde cause de la division.

La démonstration en est la même que celle que nous avons donné au n. 240; observant néanmoins que ces arbres, arbrisseaux, &c. n'arrêtent ici que des sables & du limon.

268. *Une digue oblique peut aussi opérer la division du courant.*

La démonstration en est la même qu'au n. 241. Cependant nous observerons que ce cas n'est pas commun.

269. *Si, dans les crues, la rivière, franchissant les bords, rencontre un endroit où il y ait plus de pente, elle se divisera.*

On peut voir le raisonnement que nous avons fait à ce sujet, au n. 243.

C'est ainsi, qu'en 1711, la plus grande partie des eaux du Rhône abandonna le lit appellé *bras de fer*, pour se jetter dans le canal des Lônes, comme nous l'avons dit au n. 182.

§. IV.

De l'embouchure des rivières dans la mer.

270. Nous avons déja dit (11) que les rivières charient, à la mer, les terres que les pluies entraînent; que ces matières étoient poussées par les rivières & repoussées par la mer; & qu'enfin elles s'arrêtoient là où il y avoit équilibre entre ces deux forces, pour former des barres ou des îles suivant les circonstances ou les localités. Nous pouvons dire ici, *qu'en général, les barres se forment dans l'Océan & les îles dans la Méditerranée.* A l'embouchure des rivières il se forme des barres dans l'Océan, & des îles dans la Méditerranée.

Car, 1°. dans l'Océan, la haute marée arrête les eaux de la rivière & les oblige à s'élever jusqu'à la marée descendante;

alors ces eaux, ainsi accumulées, jointes à celles de la mer qui se retirent, font, à l'égard des dépôts, les fonctions d'une écluse de chasse, & entraînent les matières étrangères jusqu'à une certaine distance dans l'intérieur de la mer, ou, enfin, elles forment des barres toujours sujettes aux variations du flux & reflux & qui rarement s'élèvent jusqu'à la superficie des eaux.

2°. Dans la Méditerranée, au contraire, comme il n'y a point de marée, ces matières ne pouvant pas être poussées comme par une écluse de chasse, s'arrêtent plus près de la côte où elles s'amoncelent, jusqu'à ce qu'elles paroissent à la surface des eaux : alors elles forment des îles.

L'expérience prouve ce que nous disons. Qu'on jette les yeux sur la Seine, la Loire, la Gironde & l'Adour, rarement on y trouvera des îles, mais seulement des barres; au lieu que dans le Rhône il se manifeste journellement quelqu'île.

Les îles dans la Méditerranée, prolongent le lit dans la mer & augmentent le Continent.

271. *Les îles qui se forment dans la Méditerranée, se lient bientôt au Continent & le prolongent dans la mer.* Car les eaux qui séparent ces îles de la terre ferme, sont à l'abri des vagues & des courans, & permettent plus facilement les dépôts.

L'observation nous fournit les preuves les plus convaincantes de cette assertion. Arles, la plus ancienne ville de cette partie des Gaules, fut bâtie sur un rocher à l'embouchure même du Rhône; & l'on croit communément que le clocher des Minimes étoit un phare. Ce qu'il y a de bien certain, c'est que ce clocher est de toute antiquité, & qu'il a réellement la forme d'un phare. Cependant aujourd'hui Arles est à environ 22,000 toises de l'embouchure du fleuve.

L'histoire nous apprend que Louis IX s'embarqua à Aigues-Mortes, pour l'expédition des Croisades. Aujourd'hui néanmoins Aigues-Mortes est à environ 4000 toises loin de la côte.

Nous avons déjà observé (11) que depuis 1711, le Rhône a porté son embouchure à environ 3000 toises au-delà de la tour Saint-Louis.

Cicéron nous apprend, dans ses lettres, que, de son tems, le port de Fréjus, dont on voit encore les restes, étoit en exercice. Aujourd'hui cette ville est à plus de 500 toises loin de la mer par les dépôts de la rivière d'Argens.

272. *L'embouchure des rivières dans la Méditerranée doit y former des plages dangereuses.*

L'embouchure dans la Méditerranée produit des plages dangereuses.

Car les dépôts, avant de paroître à la surface de l'eau, forment, çà & là, une multitude d'écueils auxquels il est très-dangereux de toucher.

Le golfe de Lyon nous en offre un exemple bien remarquable.

273. *A mesure que le lit se prolonge, le fond doit s'exhausser en amont.* Soient AB (*fig.* 17.) la surface de la mer, A l'embouchure d'une rivière, & AC la ligne de fond de son lit. Supposons que le lit se prolonge de A en D, le volume d'eau & la grossièreté des matières de fond restant les mêmes, la pente doit être aussi la même : car on a vu au §. I^er^. du chapitre premier, qu'il n'y avoit pas d'autres élémens que la masse, la pente & la grossièreté des matières, pour déterminer la position & les variations du lit. Tirons du point D la ligne DE parallèle à AC, elle sera le fond du nouveau lit : mais DE est supérieure à AC ; donc le lit s'exhaussera.

Lorsque le lit se prolonge dans la mer, le fond en amont doit s'exhausser. Fig. 17.

274. Il suit de-là que *si les domaines adjacens ne s'exhaussent pas à proportion, ils se convertiront en marais.*

Dans ce cas, si les domaines riverains ne s'exhaussent pas, ils se convertiront en marais.

Car ces domaines éprouveront des filtrations de la part du fleuve dont les eaux seront supérieures ; d'ailleurs, quand même les filtrations n'auroient pas lieu, les seules eaux pluviales les inonderoient. Or, ces eaux ne pourroient pas s'écouler dans le fleuve, à cause que son lit est supposé trop élevé ; elles ne pourront s'écouler dans la mer, qu'en prenant un dégré de pente d'autant plus grand, que leur volume sera moindre (177) : donc elles seront obligées de s'enfler en amont, & par conséquent d'inonder le pays.

Les marais augmenteront à proportion que la mer se retirera.

275. *Les marais augmenteront d'autant plus, que la mer s'éloignera davantage.*

Car plus la mer s'éloignera, plus le cours du canal d'évacuation sera long. Donc (273) plus le lit s'exhaussera en amont & plus l'étendue du terrein inondé sera grande.

Les marais de la contrée d'Arles justifient cette assertion. On voit dans sa partie de ces marais, qui se trouve dans le terrein des Baux, un ancien édifice appellé le *Mônestier*, corruptif de *monastère*. Cet édifice a été certainement construit à sec; aujourd'hui, néanmoins, il est bien-avant dans l'intérieur des marais. Donc les marais se sont accrus depuis que la mer s'est retirée.

Moyen d'empêcher que les domaines riverains ne se convertissent en marais.

276. Il n'y auroit qu'un seul moyen d'empêcher cet effet; ce seroit d'exhausser le terrein à mesure & à proportion de la retraite de la mer. La manière la plus naturelle d'opérer cet exhaussement, seroit d'arroser le pays avec un canal alimenté par des eaux troubles: car, dans ce cas, à chaque irrigation, les eaux déposeroient une couche de limon qui insensiblement élèveroit le sol. Mais, d'un autre côté, les arrosages exigent des égoûts. Dans ces terreins, les canaux, servant d'égoût, auroient peu de pente, & les eaux y prendroient peu de vîtesse; elles déposeroient donc dans ces canaux & les encombreroient continuellement. Ainsi le plus sûr seroit d'évacuer les eaux des marais, sans pente, ou du moins avec la moindre pente possible. C'est ce que nous verrons dans notre traité des canaux d'arrosage.

SECTION IV.

Des Torrens - Rivières.

277. IL nous reste peu de chose à dire sur les torrens-rivières, puisque tout ce que nous venons de dire jusqu'ici sur les torrens & les rivières, s'y appliquent exactement, à la réserve de quelques propositions qui ont besoin d'être modifiées. Mais avant d'exposer ces propositions, ne perdons pas de vue ce que nous avons dit au n. 165, savoir, que c'est par le plus ou moins de régularité des galets, qu'on distingue si le torrent-rivière approche plus ou moins du torrent ou de la rivière.

Le gravier du torrent-rivière est plus grossier que celui de la rivière qui le reçoit.

278. *Le gravier est plus grossier dans ces torrens-rivières que dans la rivière qui le reçoit.*

Car les galets s'atténuent pour s'arrondir ; donc puisqu'ils sont arrondis dans la rivière & qu'ils ne le sont pas encore parfaitement dans le torrent-rivière, ils sont plus grossiers dans le torrent-rivière que dans la rivière.

Son volume d'eau est moindre que celui de la rivière qui le reçoit.

279. *Le volume d'eau du torrent-rivière est moindre que celui de la rivière qui le reçoit.*

La forme régulière & arrondie des galets, indique (165) que le cours de la rivière est plus long que celui du torrent-rivière, mais (58) le volume d'eau est comme le pays arrosé, ou comme la longueur du cours ; donc le torrent-rivière aura moins d'eau que la rivière dans laquelle il s'évacue.

Donc le torrent-rivière aura plus de pente que la rivière qui le reçoit.

280. Il suit de ces deux propositions, que *le torrent-rivière aura plus de pente que la rivière qui le reçoit.*

Car, (176 & 177) la pente sera d'autant plus considérable, que les matières seront plus grossières, & que le volume d'eau sera moindre, or les matières sont plus grossières & le

volume d'eau eſt moindre dans le torrent-rivière que dans la rivière qui le reçoit.

Réflexions ſur les gouffres d'équilibre des torrens-rivières.

Nous avons vu (196) que dans les rivières, l'équilibre exige qu'à des intervalles déterminés il ſe creuſe des gouffres; cette propriété aura lieu dans la rivière qui reçoit le torrent-rivière; elle aura encore lieu aux endroits où le torrent-rivière approchera de la nature de la rivière, à cauſe que dans ces endroits la différence entre ces deux courans n'eſt qu'une nuance qui ne devient bien ſenſible qu'à une certaine diſtance en remontant, c'eſt-à-dire, qu'en ces endroits la durée des eaux d'équilibre y ſera ſenſiblement telle qu'elle eſt requiſe par l'équilibre entre leur force et la réſiſtance du lit (89. 2°.). Mais en s'approchant davantage de la ſource du torrent-rivière, la durée tant des crues que des eaux d'équilibre diminuant ſans ceſſe, (58, 60 & 63.) le lit n'aura pas le tems de ſe mettre en équilibre avec la force des eaux, & les gouffres qu'on y appercevra dépendront bien plus des circonſtances particulières que d'une loi fixe, & cela d'autant plus qu'on s'approchera davantage du torrent générateur. On doit dire la même choſe des autres propriétés des gouffres que nous avons détaillées aux n. 198 & 202.

Réflexions ſur l'exhauſſement & l'abaiſſement de leur lit.

281. L'exhauſſement & l'abaiſſement des torrens-rivières auront lieu dans les mêmes cas que ceux qui regardent les rivières & qui ſont détaillés au Chapitre I de cette partie; mais il y aura cette différence: ſavoir, que les progrès ſeront plus rapides dans l'exhauſſement, & plus lents dans l'abaiſſement du lit des torrens-rivières à meſure qu'on s'approchera davantage de la ſource.

Car, plus on s'approchera de la ſource, plus les crues ſeront courtes, & moins le courant ſera en état d'entraîner les matériaux; donc, dans le premier cas, le gravier s'amoncelera plus rapidement, & dans le ſecond, il ſera entraîné plus difficilement.

182.

282. *Si le lit d'un torrent-rivière est trop large, le courant en pourra sortir pour se répandre sur les domaines riverains qui ont été gagnés à ses dépens.*

Si le lit est trop large, le torrent-rivière pourra l'abandonner.

En effet le lit s'exhaussant alors rapidement, les domaines riverains deviendront bientôt inférieurs : & puisqu'en général, lorsque le lit est trop large, le courant se porte sur les berges (223), s'il survient quelque obstacle qui gêne son cours, il doit sortir de son lit primitif, & se jetter sur les domaines riverains (105 2°.). Mais la courte durée des crues produit aisément des dépôts de gravier, & permet souvent à des arbustes entraînés, & à d'autres matières étrangères, de s'arrêter au milieu du lit, & de gêner le courant. Donc, alors le torrent-rivière doit sortir de son lit pour se répandre sur les domaines adjacens qu'il couvrira de gravier.

C'est ce qui est prouvé par une infinité d'observations.

283. Il résulte de-là, qu'il y a cette différence remarquable entre les torrens-rivières, & les rivières proprement dites, dont le lit a été rétréci par les domaines riverains : c'est que les torrens-rivières peuvent faire des sorties sur ces domaines, & même s'y établir brusquement, en abandonnant leur lit primitif; au lieu que dans les rivières, le lit majeur ne s'exhaussant pas aussi rapidement (281), les crues y étant plus longues (63), & le courant resserré par la berge contre laquelle il se porte (223), ayant assez de force pour déblayer le lit mineur, & l'approfondir en corrodant le fond (228 & 232), il n'arrivera rien de pareil; mais seulement le lit majeur s'étendra par la corrosion des berges, lorsqu'elles seront corrosibles (228), & le courant ne laissera jamais rien derrière lui : il faut néanmoins en excepter le cas mentionné au n. 243.

Différence remarquable entre les rivières & les torrens-rivières.

284. Au reste, les torrens-rivières participant à la nature des torrens & des rivières, & cela plus ou moins, selon qu'ils s'approchent ou s'éloignent du torrent générateur, ou du point où ils sont réellement rivières, leur théorie tiendra plus ou moins

de celle du torrent ou de la rivière, suivant les localités : car on sent bien qu'il y a des nuances à l'infini; par conséquent, c'est à ces diverses nuances qu'on aura égard dans les travaux qu'on y exécutera.

SECTION V.

Des Confluens.

§. I.

Observations générales sur les Confluens.

La solution du problême sur la direction de la résultante de deux courans qui se réunissent, est inadmissible dans la pratique.

285. LORSQUE deux courans se joignent pour n'en former qu'un seul, ils agissent ordinairement l'un sur l'autre, suivant leur force & leur direction. En conséquence, plusieurs auteurs respectables par leurs connoissances, ont proposé, pour problême, de *déterminer, d'après ces données, la direction de la résultante des deux courans réunis.* Il est certain que la solution qu'ils en donnent seroit très-exacte & parfaitement conforme au résultat, si les deux courans se joignoient sur un milieu d'une résistance homogêne & extrêmement petite, par exemple, sur la surface des eaux de la mer; mais dans l'état naturel, cette réunion des courans ne s'opère pas ainsi. La diversité des pentes & des matières qui composent, soit le fond de leurs lits, soit les bords au-dessous du confluent, produisent des variations à l'infini dans les résultats. Ainsi, à cet égard, nous ne pouvons dire autre chose, sinon que *le courant le plus fort influe plus ou moins sur le plus foible, suivant les circonstances & les localités.* Dans la pratique, ce sont ces deux objets qu'il faut consulter, & même on peut être assuré, que dans tous les cas on n'obtiendra que des *à-peu-près.*

286. *En général, le courant le plus fort s'oppose plus ou moins à l'admission du plus foible.*

Le courant le plus fort s'opposera plus ou moins à l'admission du plus foible.

Fig. 18.

Soient AB (fig. 18) un filet quelconque du courant le plus fort & CD un semblable filet du courant le plus foible : supposons-les composés, l'un & l'autre, d'une infinité de globules placés à la suite les uns des autres. Pour que le second courant puisse s'incorporer dans le premier, il faut que les globules de CD puissent s'intercaler entre les globules de AB. Or plus le premier courant aura de force, plus il aura de vîtesse & plus les globules de AB seront pressés les uns contre les autres : donc, aussi, plus alors les globules de CD auront de difficulté à s'intercaler parmi les globules de AB ; ce qui est parfaitement conforme à l'expérience.

287. Comme dans l'état naturel il est rare que deux courans qui se réunissent aient l'un & l'autre le même degré de force, il suit, de ce que nous venons de dire, que, dans ce cas, *si le courant le plus foible n'a pas sensiblement plus de pente, il sera obligé de s'enfler pour entrer dans le plus fort.*

Le courant le plus foible sera souvent obligé de s'enfler pour entrer dans le plus fort.

Car les eaux supérieures, s'élevant, presseront davantage les eaux inférieures (91) & leur donneront assez d'intensité pour forcer la résistance du courant le plus fort : d'ailleurs ces mêmes eaux, en s'élevant, pourront aussi s'évacuer en partie sur la surface du même courant.

288. *Les eaux du courant le plus foible étant obligées de s'enfler & de s'élever, il arrivera souvent que ce courant se divisera en plusieurs branches.*

Dans ce cas, le courant le plus foible se divisera souvent en plusieurs branches.

Car ces eaux ne peuvent s'enfler sans inonder tout ce qui sera au dessous du niveau de leur superficie ; elles se répandront donc dans leur lit majeur par-tout où le niveau pourra les porter. Or il est presqu'impossible que, dans la largeur du lit majeur, pour peu considérable qu'elle soit, il ne s'y trouve divers endroits plus bas les uns que les autres. Donc (105 2°.)

il ſe formera, dans ces endroits, des branches particulières ; & c'eſt ce que l'expérience journalière confirme.

La ſection de deux courans réunis, eſt moindre que la ſomme de leurs ſections avant la réunion. Fig. 19.

289. Soient ABC & DEF (fig 19) les ſections des deux courans avant leur réunion, & GHK la ſection commune aux deux courans réunis. Si la vîteſſe moyenne étoit la même avant & après la réunion, il eſt viſible que la ſection GHK ſeroit égale à la ſomme des deux autres; mais (101) c'eſt la réſiſtance du fond qui modifie la force accélérative, & (171) cette réſiſtance eſt, toutes choſes d'ailleurs égales, proportionnelle au pourtour GHK, tandis que le volume d'eau ſuit la raiſon de la ſurface de la ſection ou du carré du pourtour GHK. Donc, puiſque la maſſe d'eau & par conſéquent ſa force augmente dans un plus grand rapport que la réſiſtance, la force accélérative (195), après la réunion, ſera plus grande & la vîteſſe augmentera. Par conſéquent la ſection GHK ſera moindre que la ſomme des deux ſections ABC, DEF. Donc *la ſection de deux courans réunis eſt moindre que la ſomme de leurs ſections avant la réunion.*

La choſe eſt prouvée par l'expérience: car on voit à chaque pas des courans ſe jetter dans de plus grands ſans augmenter ſenſiblement les dimenſions de leur lit. Cela doit nous faire admirer, toujours de plus en plus, la ſageſſe de la providence: car ſi la ſection d'une rivière devoit conſtamment être égale à la ſomme des ſections de tous les affluens lorſque, dans les crues, elle ſeroit arrivée à une certaine diſtance de la ſource, peu de plaines ſeroient à l'abri de ſes inondations. Heureuſement le Créateur y a obvié en établiſſant des loix qui augmentent la viteſſe à proportion.

§. II.

Du Confluent de deux Torrens.

Les variations au confluent de deux

290. Lorſqu'un torrent ſe jettera dans un autre, ſur le pen-

chant même de la montagne où ils se forment, le plus fort poussera le plus foible sur le côté opposé, qui pour lors sera corrodé. Mais cette corrosion portant sur le flanc de la montagne, fera peu de progrès, & se bornera à occasioner une légère déviation au-delà de laquelle le torrent récipient reprendra son cours. Ainsi, nous pouvons dire qu'*en général les variations ou confluens de deux torrens sur la montagne où ils se forment, seront peu considérables.* — torrens sur le penchant d'une montagne, seront peu considérables.

291. Mais il n'en est pas de même de la réunion des torrens au bas des montagnes & dans les plaines. Dans ce cas, toutes choses d'ailleurs égales, celui qui a le plus de pente agit sur l'autre, & en détermine la direction (286) : il peut même arriver que les directions étant peu concourantes, le plus fort obstrue le lit du plus foible. Alors, on doit s'attendre aux effets les plus pernicieux ; car (136) les torrens étant assez généralement supérieurs aux plaines adjacentes, il arrivera (134) que le torrent obstrué se jettera sur les domaines riverains (105 2°.), & qu'il les couvrira de gravier. — Les directions des torrens dans les plaines, doivent concourir le plus possible.

D'où l'on doit conclure, qu'en général *on doit donner aux torrens dans les plaines, les directions les plus concourantes possibles.*

§. III.

Du Confluent d'un Torrent & d'une Rivière ou d'un Torrent-Rivière.

292. *Le lit de la rivière sera rétréci par le torrent.* — Le lit de la rivière sera rétréci par le torrent.

Car dans les crues d'orage, le torrent entraînera une quantité de matières d'autant plus considérable que son cours sera plus étendu. Ces matières affluant dans la rivière, formeront, à l'embouchure du torrent, une espèce de digue qui jettera le courant sur le côté opposé. Ce courant ainsi rétréci creusera sur

ce côté (212) & le rendra plus bas que la partie restante du lit. Donc (105 2°.) il s'y fixera. Il est vrai que ces matières seront déblayées par le courant; mais ce ne sera qu'en partie, à cause que le fort du courant sera établi du côté opposé, comme nous venons de le dire.

Les dépôts d'un torrent peuvent totalement barrer le lit d'une rivière.
Fig. 5.

293. *Les dépôts d'un torrent peuvent totalement barrer le lit d'une rivière.*

Supposons pour cela, qu'au confluent, le lit de la rivière soit resserré par des montagnes, de manière qu'il n'y ait pas de lit majeur, ou que le torrent soit tel que la longueur de son cours KC (fig. 5), depuis la chûte K, au bas de la montagne jusqu'à la rivière, soit extrêmement courte ou nulle, ce qui aura lieu au commencement de la formation d'un torrent, ou lorsque la montagne sera entièrement en rocher (130): s'il survient un orage sur cette montagne exclusivement, les matières, que le torrent chariera, peuvent être assez volumineuses pour barrer totalement le passage de la rivière par une espèce de jettée; dans ce cas, la rivière formera, en amont, un étang momentané dans lequel ses eaux s'éléveront jusqu'à ce qu'elles aient atteint la crête de cette jettée. Alors elles s'écouleront d'abord par-dessus, & ensuite elles la couperont ainsi que nous l'avons dit (116).

Cet effet n'est pas rare dans les pays des montagnes. Nous en avons été plusieurs fois temoins sur la rivière d'Issolle, prise dans le terrein de Troins, entre Saint-André & Thorame-Basse, dans le département des Basses-Alpes. En cet endroit, la rivière y est assez fréquemment barrée par les dépôts d'un torrent connu sous le nom de *torrent de Pré Chabanat*, qui descend de la montagne de *Maurel*, entre la Mure & Argens. Bien des gens ont vu la même chose arriver sur le Verdon, près de Thorame-Haute, dans le même département.

Ce qui arrivera lorsque le lit majeur

294. Si, au confluent, le lit majeur de la rivière est fort

large, il s'exhaussera peu-à-peu par les dépôts du torrent qui, pour lors, sera dans le cas dont nous avons parlé au n. 134. Cet exhaussement sera proportionnel au volume des matières que le torrent chariera. Dans ce cas le lit sera rétréci & la rivière s'établira du côté opposé (292).

de la rivière sera fort large.

On doit remarquer, qu'en pareil cas, un torrent équivaut à une digue; car, en exhaussant un des côtés du lit, il force la rivière à s'établir du côté opposé (105 2°.).

Cet exemple peut s'observer à chaque pas, dans les pays de montagnes : on le trouve sur-tout à l'embouchure des torrens qui se jettent dans la rivière d'Asse, près de Mezel, dans le département des Basses-Alpes.

295. *La pente d'une rivière doit augmenter à l'issue du confluent d'un torrent.*

La pente d'une rivière augmentera à l'issue du confluent d'un torrent.

Car les matières chariées par un torrent n'ayant pas encore été atténuées par le roulage & les écornemens qui en sont la suite (165) seront plus grossières que celles de la rivière. Or, à raison de la brièveté de la crue du torrent, on ne doit pas compter sur une augmentation d'eau de sa part, lors du volume d'équilibre : donc le volume d'eau de la rivière doit être regardé comme constant, tandis que la grossièreté des matières du fond augmente; mais (176 1°.) dans ce cas, la pente augmentera.

296. Si un torrent se jette dans un torrent-rivière, les variations résultantes dépendront du point où le confluent aura lieu. Lorsque ce point se trouvera sur la partie où le torrent-rivière peut être regardé comme torrent, ces variations seront les mêmes que celles dont nous avons parlé au n. 291. Au contraire, lorsque ce point sera sur la partie où le torrent-rivière peut être regardé comme rivière proprement dite, elles se rapporteront à ce que nous venons de dire (292 & 295). Dans l'espace intermédiaire, les variations seront mi-parties & composées.

Cas où le torrent se jettera dans un torrent-rivière.

§. IV.

Du Confluent d'une Rivière & d'un Torrent-Rivière.

Si la nature du torrent-rivière approche de celle du torrent, les effets sont les mêmes qu'au confluent du torrent & de la rivière.

297. Nous avons démontré (278) que le gravier est plus grossier dans le torrent-rivière que dans la rivière qui le reçoit, & (280) que le torrent-rivière a plus de pente que la rivière dans laquelle il s'évacue. Or, ces propriétés appartiennent aussi aux torrens (159 & 126) : donc tout ce que nous avons dit aux n. 292, 294 & 295 au sujet du confluent des torrens & des rivières, s'applique exactement au confluent des rivières & des torrens-rivières. Nous remarquons seulement que le torrent-rivière ayant toujours un certain volume d'eau (60), il arrive assez ordinairement que dans le cas du n. 294, il se divise en plusieurs branches avant d'entrer dans la rivière. Cet effet ne provient point de la cause mentionnée au n. 288, puisque le torrent-rivière ayant plus de pente que la rivière, ses eaux doivent avoir aussi plus de force ; mais il résulte de ce que les dépôts s'étendant sous la forme d'un conoïde extrêmement écrasé, les eaux dans les grandes crues n'étant point contenues, se répandront de toutes parts, comme les torrens dans le cas dont nous avons parlé au n. 134. Or, parmi les diverses faces de ce conoïde, il s'en trouve toujours plusieurs qui ont plus de pente que les autres, & qui (105, 2.) attirent le courant, qui alors se divise en plus ou moins de branches, suivant les circonstances.

Observations particulières.

La rivière d'Issolle qui, dans le fait, n'est qu'un torrent-rivière, puisque les *galets* ne sont pas encore parfaitement arrondis à son embouchure : cette rivière, disons-nous, qui se jette dans le Verdon à Saint-André, dans le département des Basses-Alpes, nous en fournit de fréquens exemples.

§. V.

§. V.

Du Confluent de deux Rivières.

La pente diminue en aval du confluent de deux rivières.

298. D'après ce que nous avons dit au paragraphe I^{er}. de cette ſection, & qui ſe rapporte plus particulièrement au confluent de deux rivières, il ne nous reſte à ce ſujet qu'une obſervation à faire. Cette obſervation conſiſte en ce qu'ici la pente diminue en aval des confluens, au-lieu qu'elle augmente en aval de ceux dont nous venons de parler.

On peut en voir la démonſtration au n. 190.

§. V I.

Du Confluent de deux Torrens-Rivières.

Le confluent de deux torrens-rivières renferme quatre cas.

299. Nous avons ici quatre cas à examiner, ſavoir:

1°. Si les deux courans approchent plus de la nature du torrent que de celle de la rivière.

2°. Si les deux courans approchent plus de la nature de la rivière que de celle du torrent.

3°. Si l'un ſe rapproche plus du torrent, & l'autre de la rivière.

4°. Si l'un & l'autre tombent dans l'état intermédiaire.

Ces cas ſe rapportent à quelqu'un des précédens.

300. Dans le premier cas on doit regarder les deux courans comme deux vrais torrens dont les loix du confluent ſe rapportent à ce que nous avons dit au n. 291.

Dans le ſecond cas on doit regarder les deux courans comme de véritables rivières; & alors on doit appliquer au confluent ce que nous avons dit au paragraphe précédent.

Dans le troiſième cas l'un doit être regardé comme tor-

rent, & l'autre comme rivière; & l'on doit leur appliquer ce que nous avons dit aux n. 292, 294 & 295.

Dans le quatrième cas enfin, les variations tiendront plus ou moins de celles des trois précédens, suivant la nature des courans à leur confluent.

Venons à présent à la seconde partie de cet ouvrage.

DEUXIÈME PARTIE.

Des moyens d'empêcher les ravages des Torrens, des Rivières & des Torrens-Rivières.

SECTION I.

Des moyens d'empêcher la formation & les ravages des Torrens.

§. I.

Des moyens d'empêcher la formation des Torrens sur les Montagnes.

Empêcher la coupe des bois sur les montagnes.

301. NOUS avons dit (144) que la destruction des bois qui couvroient les montagnes étoit la première cause de la formation des torrens. Pour détruire l'effet, il faut extirper la cause. Donc, s'il reste encore de la terre végétale sur ces montagnes, le mieux seroit de les laisser se boiser en laissant ces terres en friche, &, à cet effet, d'en écarter tout ce qui pourroit porter atteinte aux arbres naissans. C'est pour cette raison qu'on devroit tenir la main à l'exécution la plus stricte des loix concernant la prohibition des chèvres; car on sait que la dent de cet animal est meurtrière pour les arbres naissans. Il n'est pas moins essentiel de pourvoir à la conservation des bois existans, puisque ces bois, qui ont empêché jusqu'aujourd'hui les torrens de se former, nous sont un sûr garant qu'ils en empêcheront encore la formation à l'avenir.

Mode à suivre pour les défrichemens sur les montagnes.

302. Les défrichemens (145) sont la seconde cause de la formation des torrens : il faut donc, qu'après avoir été trop généralisés par les anciennes loix, ils soient réduits à leurs véritables limites. En conséquence nous croyons, qu'à cet égard, on devroit se conformer à ce qui suit.

1°. Un défrichement ne devroit jamais, sous quelque prétexte que ce fût, être permis sur le penchant d'une montagne qui auroit moins de 3 de base ou d'empattement sur 1 de hauteur verticale.

2°. Le défrichement pourroit être permis sous un plus grand empattement ou une moindre déclivité, mais néanmoins avec des restrictions, d'après le mode que nous allons proposer.

3°. Le défrichement ne devroit être autorisé que par lisières ou bandes transversales & horisontales ou de niveau, ou du moins à peu de chose près.

4°. Dans ce cas les bandes défrichées seroient séparées entr'elles par d'autres bandes pareillement horisontales ou de niveau qu'on laisseroit incultes, & sur lesquelles on permettroit aux bois de croître.

5°. Ces bandes incultes seroient destinées à remplacer les murs de soutenement prescrits par la loi dont nous avons parlé au n. 145. Il paroît qu'elles ne devroient pas avoir moins de 5 toises de largeur pour pouvoir, au besoin, détruire un torrent qui se formeroit sur la bande supérieure défrichée.

6°. La largeur des bandes défrichées pourroit être de 5 toises seulement dans le cas où l'empattement de la montagne seroit de 3 sur 1 de hauteur, & il paroît qu'elle pourroit croître en raison inverse de cet empattement jusqu'à ce qu'on fût arrivé à une pente qui ne laissât plus aucun sujet de craindre la formation des torrens ; auquel cas cette largeur pourroit être illimitée.

7°. Enfin, les défrichemens, dans tous les cas, ne devroient pouvoir s'effectuer qu'avec l'autorisation des autorités munici-

pales respectives, & d'après la vérification & le tracé préalable qui en seroit fait par un officier public, à ce préposé dans chaque commune.

Il n'y a personne qui ne voie que, d'après un pareil réglement, on éviteroit, à l'avenir, tous les désastres produits par les défrichemens arbitraires, & presque toujours fort mal entendus pour le public & le particulier; désastres dont nous avons fait l'énumération aux n. 146 & 151.

Boiser les montagnes en semant des glands ou des faînes.

303. La nature n'est que plus active lorsqu'elle est aidée par l'industrie humaine. Ainsi, dans le cas où l'on voudroit hâter sur certains penchans de montagnes la multiplication des bois, il ne seroit souvent pas mal d'y semer, soit des glands, soit des faînes de l'espèce d'arbres qu'on présumeroit être propres aux localités. Il y a plus d'un pays où l'on s'est parfaitement bien trouvé de l'usage de ce moyen, qui paroît pourtant extraordinaire aux yeux du vulgaire.

Ou les gazonner.

304. Il y a des cas où il reste assez peu de terre sur les montagnes pour faire présumer que les bois n'y prendroient que de foibles accroissemens: on pourroit alors, avec succès, gazonner ce terrein, en y semant des graines des plantes qui seroient jugées les plus propres aux localités. Le tissu superficiel que le gazon formera sera un obstacle à la formation des torrens; & d'ailleurs, par ce moyen, on créera des pâturages utiles.

Ce sont là les moyens de prévenir la formation des torrens sur les montagnes. Il nous reste à voir ceux qu'il faut employer pour détruire, lorsque la chose est possible, les torrens déjà formés.

Manière de détruire un torrent à son origine.

305. Il paroît que jusqu'à présent il n'y a qu'un seul moyen connu pour détruire les torrens. Ce moyen consiste à les prendre, dès leur origine, & à barrer leur lit d'espace en espace avec des pieux enfoncés en terre, entrelacés d'arbres placés en travers & recouverts de pierres. L'ensemble formera un obstacle qui arrêtera les eaux lors des orages & les forcera à déposer

tout ce qu'elles charient. A mesure que le fond s'exhaussera par les dépôts, on exhaussera aussi les ouvrages jusqu'à ce que le lit du torrent soit entièrement comblé. Alors, pour en prévenir une nouvelle formation, il sera très-prudent de complanter cet emplacement en broussaille.

L'usage des murs pour cet objet, est défectueux & trop couteux.

306. Il y a des gens qui employent des murs au lieu de palissades. Outre que cette méthode est plus coûteuse, elle est beaucoup moins efficace que celle des palissades; car les eaux, en franchissant le mur, forment une cascade qui l'affouille & en entraîne la ruine. Cette cascade est bien moindre avec des palissades, à cause que les eaux passent à travers. D'ailleurs elle ne produit aucun effet dangereux, lorsqu'on a soin de placer une partie des branches des arbres extérieurement & du côté d'aval pour recevoir le choc des eaux dans leur chûte & en amortir la violence.

Cas où il est impossible de détruire un torrent.

307. Ce moyen réussit à souhait dans tous les torrens naissans, & qui n'ont pas encore creusé bien profondément leur lit: l'expérience nous en garantit le succès. Mais il n'en est pas de même lorsque les torrens ont pris des accroissemens considérables, & qu'ils ont creusé de profonds vallons : dans ce cas, on doit regarder leur destruction comme impossible; ce qui prouve combien il est nécessaire de s'opposer au mal dès son principe.

308. Il y a encore deux cas où la même impossibilité se rencontre. Le premier est celui où il ne reste plus que le rocher nud sur les montagnes, & le second celui où le torrent est produit par une fondrière.

Dans le premier cas, quand même on forceroit les eaux à combler le lit par les pierres qu'elles charient (120), ce qui ne donneroit aucun bénéfice & ne pourroit s'effectuer qu'à grands frais, ne restant plus de terre végétale sur la montagne & conséquemment ne pouvant pas se couvrir d'ar-

bres, rien ne peut intercepter les eaux pluviales qui pour lors se frayeroient une autre route.

Dans le second cas, ces torrens doivent originairement leur formation aux avalanches & aux éboulemens (13 & 14), & ces causes ne peuvent être mises que dans la classe des causes supérieures, auxquelles rien ne peut résister. Or, quand même on feroit des ouvrages sur le lit de ces torrens, il est bien visible que le premier éboulement les emporteroit.

§. II.

Des moyens d'empêcher les ravages des Torrens au bas des Montagnes.

309. Nous avons déja dit (136) qu'il falloit nécessairement conduire le lit d'un torrent jusqu'à la rivière la plus voisine, & (139) que la chose devoit avoir lieu par la voie la plus courte. Nous avons pareillement vu (136 & 137) de quelle manière on devoit déterminer la pente du lit, depuis la montagne jusqu'à l'embouchure. Nous ne reviendrons donc pas sur ces objets. Celui dont il nous reste à nous occuper, est d'assigner les moyens les plus simples & les plus solides de contenir les eaux dans leur lit, & de les empêcher de s'extravaser sur les domaines riverains. Or nous avons dit (133) qu'il y a trois cas, savoir : 1°. Celui où le torrent s'établiroit en pleine terre. 2°. Celui où il couleroit superficiellement ; & 3°. enfin, celui où il s'établiroit sur un remblai. Nous allons donc examiner successivement les moyens relatifs à chacun de ces cas.

Trois cas à examiner dans les torrens au bas des montagnes.

310. Lorsque la pente du terrein intermédiaire à la montagne & à la rivière, est telle que le torrent est obligé d'y creuser son lit en pleine terre, on n'a pas besoin de faire

Le torrent se réduit de lui-même dans le cas où son lit est en pleine terre.

des ouvrages pour en contenir les eaux, puiſqu'elles ſe trouvent alors reſſerrées dans le canal que le torrent s'eſt lui-même pratiqué. C'eſt le cas le plus avantageux ; & il ſeroit à deſirer, pour le bien de la ſociété, que tous les torrens puſſent être conduits aux rivières voiſines par de pareils moyens.

Moyen de le réduire dans le cas où ſa pente eſt la même que celle du terrein.

311. Dans le cas où la pente du terrein ſeroit la même que celle que doit avoir le lit du torrent, les eaux couleront ſur la ſuperficie, & elles pourront s'extravaſer pendant les crues ; alors on aura beſoin de conſtruire des ouvrages pour les contenir. Il en ſera de même lorſque le terrein aura moins de pente, & que le torrent devra être conduit à la rivière par un remblai (134). Ainſi, ces deux cas conſidérés ſous le rapport des ouvrages deſtinés à contenir les eaux, s'identifient ; par conſéquent, les moyens que nous allons preſcrire s'appliqueront également à l'un & à l'autre, lorſque dans le troiſième cas le remblai ſera parvenu à la ligne de pente (137). Voyons d'abord le moyen de forcer le torrent à former le remblai de la chauſſée ſur laquelle il doit établir ſon lit.

Moyen de le réduire dans le cas où il doit être conduit ſur une chauſſée.
Fig. 20.

312. Soit le torrent AB (fig. 20) qui deſcend des montagnes C, D, E, & qu'il s'agit de conduire à la rivière GHPQ à travers la plaine ZIHG en ſuivant la direction BF. On fera d'abord le nivellement détaillé de la ligne BF pour en avoir le profil. Aux points B, R, S, T, élevons des perpendiculaires à BF. Du point I tirons la ligne de niveau IO ; traçons le profil IKLMN de BF, & fixons la ligne IN du fond du lit projetté (137). Les lignes KV, LX, MY feront les hauteurs reſpectives du remblai aux points correſpondans R, S, T, de BF.

Menons de l'autre côté de BF la ligne ZJ parallèle à IO. Faiſons *cf*, *im* & *or* égales reſpectivement aux lignes KV, LX & MY. Par les points *e*, *i* & *o* tirons les lignes *ab*, *gh*, *np*, égales entr'elles & à la largeur projettée du lit, augmentée de l'eſpace néceſſaire

néceſſaire à la conſtruction des ouvrages deſtinés à contenir les eaux. Prenons enſuite $fc = fd = \frac{1}{2}\ ab + 2ef$; $mk = ml = \frac{1}{2}ab$ ou $\frac{1}{2}gh + 2im$; $rq = \frac{1}{2}np$ ou $\frac{1}{2}ab + 2ro$, & tirons les lignes *bc*, *ad*, *hk*, *gl*, *pq*, *ns*. On aura *abcd*, *ghkl*, *npqs*, qui feront les coupes ou profils tranſverſaux du remblai aux points K, S, T correſpondans.

Portons *eb* de B en *t* & en *u*; *fc* de R en *c'* & en *d'*, *mk* de S en *k'* & en *i'*; *rq* de T en *q'* & en *s'*, & *eb* de F en *x* & en *y*. Tirons les lignes *t'c'*, *c'k'*, *k'q'q'x* d'une part, & *u'd'*, *d'i'*, *i's'* & *s'y* de l'autre.

L'eſpace *tc'k'q'xys'i'd'u* compris entre toutes ces lignes, ſera celui qu'occupera l'empattement du remblai deſtiné à ſervir de lit au torrent.

On doit avoir remarqué qu'en prenant $fc = \frac{1}{2}ab + 2ef$ nous avons fait les talus des coupes doubles de la hauteur. La choſe devient indiſpenſable pour donner une aſſiette ſolide aux ouvrages, & pour pouvoir complanter ces talus en brouſſailles qui les fortifient.

Ces opérations préliminaires faites, on conſtruira une paliſſade en clayonnage de quelques pieds de hauteur de chaque côté de BF ſur les lignes *tc'k'q'x* & *ud'i's'y*. On creuſera pareillement un foſſé d'évacuation ſur la ligne *d*F; & on laiſſera au torrent le ſoin de former ſon remblai par les dépôts qu'il chariera à chaque crue.

A meſure que ces dépôts parviendront à la hauteur des paliſſades, on en conſtruira d'autres ſur les dépôts mêmes, ayant ſoin, pour donner le talus projetté, de s'avancer à chaque fois vers BF du double de la hauteur de la paliſſade précédente.

C'eſt par ce moyen qu'on parviendra à forcer le torrent à combler le vuide IKLMNYXV & à établir ſon lit ſuivant la pente de la ligne IVXYN. Avant de traiter des moyens de l'y

contenir, nous allons dire un mot fur la largeur à lui donner & la manière de la fixer.

313. Nous avons vu (142) que le remblai fera d'autant moins élevé que le lit du torrent fera plus refferré. D'où il fuit que, pour économifer & accélérer en même tems le remblai, il faut réduire la largeur autant qu'il fera poffible. Mais nous avons vu auffi (132) que c'étoit la pente dans la partie KC' (fig. 6) qui détermine celle fur la partie C'C: par conféquent, pour ne rien donner au hafard, on doit d'abord s'affurer, par des rétréciffemens d'expérience qu'on fera fur la partie KC', de la moindre largeur à donner & de la pente que le lit y prendra. Par ce moyen on connoîtra la pente & la largeur à donner au lit projetté fur la partie C'C.

Quant à la largeur à ménager de chaque côté du lit fur le couronnement du remblai, pour l'emplacement des ouvrages deftinés à contenir les eaux, nous penfons qu'on ne peut pas le fixer au deffous de 4 pieds.

On peut employer des paliffades avec des buiffons pour contenir le torrent.

314. Lorfque la largeur du lit eft fixée, le moyen le plus fimple d'y contenir les eaux eft de le border, de chaque côté, d'une paliffade entrelacée de buiffons. L'expérience prouve que les buiffons, ainfi employés, produifent le meilleur effet. Mais comme ces fortes d'ouvrages ne durent qu'un certain tems, il eft très-prudent de les accompagner de plantations de toutes fortes de brouffailles & fur-tout d'aubépine: cette efpèce eft reconnue la meilleure pour ces fortes d'objets.

Emploi des murailles pour le même objet.

315. Dans certains endroits au lieu de paliffades & de haies vives en brouffailles, on emploie des murailles. Il faut convenir que, fi ce moyen n'eft pas le plus économique, il eft du moins le plus sûr; mais il a befoin d'être employé avec précaution; car, comme dans certains cas, le torrent creufe fon lit, il eft poffible qu'il affouille les ouvrages, à moins qu'ils ne foient établis bien profondément. Auffi, lorfqu'on emploie des murs, pour cet objet, on doit donner au lit une largeur affez confidé-

rable pour que l'abaissement du fond n'y ait jamais des suites fâcheuses. C'est ce qu'on a fait aux torrens de Mezel qui s'évacuent dans la rivière d'Asse, dans le département des Basses-Alpes.

316. On pourroit aussi, dans le même cas, ne donner que la moindre largeur possible (213), & employer des radiers par intervalles, pour garantir les murs des affouillemens. Mais nous ne devons pas nous dissimuler que ce moyen a aussi ses inconvéniens; car, si à la suite d'une longue & forte crue, le fond par le moyen de la corrosion doit s'établir au-dessous du couronnement du radier, il y aura une cascade (213) qui le dégradera en l'affouillant. C'est ce qui est arrivé à Castellanne, dans le département des Basses-Alpes, où l'on avoit fait usage de ce moyen sur le torrent de la Cébière. Usage des radiers lorsqu'on emploie des murailles.

SECTION II.

Des moyens de contenir les Rivières & les Torrens-Rivières.

317. NOUS diviserons cette section en deux chapitres.

Dans le premier nous traiterons des digues;

Dans le second nous les appliquerons aux torrens-rivières & aux rivières.

CHAPITRE I.

Des Digues.

§. I.

Des Digues considérées par rapport à leur direction.

Quel est l'objet des digues.

318. L'OBJET des digues est de garantir les berges de la corrosion. Jusqu'à présent on n'a guères employé, pour cet objet, que des digues obliques ou parallèles à la direction du courant. Mais les unes & les autres entraînent après elles divers inconvéniens que nous allons successivement faire connoître. Commençons par l'examen des digues obliques.

Inconvéniens des digues obliques à la direction du courant. Fig. 21.

319. Soit ABCD (fig. 21) le lit majeur de la rivière EFGH, qui tend à se porter, suivant sa première direction, sur la partie KB de la berge AB, & à s'établir sur le prolongement de son cours FMBNG. Supposons que, d'après l'usage reçu en pareilles circonstances, pour l'en détourner, on construise la digue KL oblique à la direction du courant, il en résultera les inconvéniens suivans :

1°. Nous avons déjà vu (232 & 234) que le courant s'établira à son pied, & qu'il l'affouillera. Par conséquent, si la digue n'est pas profondément fondée, elle s'écroulera. Or, cela n'arriveroit pas, si elle n'étoit pas affouillée : donc une pareille direction provoque la ruine des ouvrages.

2°. Si le courant, après avoir parcouru la longueur de la digue KL, continue à se mouvoir sur cette direction, il se portera sur la berge DC & la corrodera. Qu'on entreprenne de la mettre à couvert par une autre digue oblique PQ, cette

digue portera, par la même raison, le courant sur la partie inférieure de la berge AB, & ainsi de suite; de sorte qu'on ne pourra garantir un côté qu'aux dépens de l'autre, & en brisant continuellement la direction du courant. Or, l'objet d'une digue doit être de détruire un mal sans en produire d'autre: donc la digue oblique ne peut pas remplir cet objet.

3°. On ne construit la digue KL, que parce que la partie KLB du lit majeur est plus basse que la partie restante, & qu'à raison de cela (105 2°.), la rivière tend à s'y établir : son objet est donc d'en détourner le courant. Or, nous avons vu (237) que les matériaux enlevés par l'affouillement le long de la digue, venant à s'arrêter vers RS, forment un obstacle qui souvent détermine le courant à se porter par la route TVNS, sur la partie postérieure de la digue qui est toujours la plus basse : donc la digue oblique ne remplit pas son premier objet.

4°. Enfin, le premier but qu'on doit se proposer en construisant une digue, est d'éloigner le courant, & pour cela, de forcer la rivière à déposer & à produire des atterrissemens qui exhaussent le côté d'où on veut l'éloigner & le rendent plus haut que le reste du lit: car alors (105 2°.) le courant sera forcé de se retirer, & l'on extirpe le mal dans sa racine. Or, (234 & 235) la digue oblique, loin de produire des atterrissemens, produit au contraire des affouillemens; de sorte que cette partie du lit qui étoit déjà plus basse que la partie restante, s'approfondit encore davantage par la corrosion; donc la digue oblique produit un effet diamétralement opposé à celui qu'on devroit avoir en vue & qu'on est censé se proposer.

Tous ces inconvéniens sont amplement prouvés par l'expérience. Les digues construites suivant cette direction sur la Durance, nous en offrent des exemples sans nombre.

320. On voit, par cette énumération, que les digues obliques à la direction du courant, sont vicieuses sous tous les rapports; qu'elles ne produisent jamais l'effet qu'on se propose,

& qu'elles en produisent toujours un contraire à celui qu'on auroit dû avoir en vue ; par conséquent, elles doivent être proscrites, lorsqu'il s'agira de mettre à couvert du courant, une berge ou un quartier riverain.

Les digues obliques sont essentielles pour établir des prises d'eau de canaux. Fig. 21.

321. Cependant, la propriété qu'ont ces digues d'attirer le courant & de l'obliger à les affouiller & à s'établir à leur base (232 & 234) nous offre un avantage bien précieux quoique peu connu jusqu'aujourd'hui. Cet avantage consiste à pouvoir établir, sur les rivières à fond de gravier, des prises d'eau pour des canaux, de manière que les eaux n'y manquent jamais, & que le gravier, pendant les crues, n'y puisse pas entrer ; & il est d'autant plus précieux, que ces rivières, ayant le plus de pente, sont les plus propres à la dérivation, soit pour l'arrosage, soit pour la navigation.

En effet supposons la digue KL construite en blocaille & en pierre sèche, il est visible que les matériaux laisseront dans leurs joints beaucoup de vuides & d'interstices ; que derrière la partie A'B', le long de laquelle le courant est parfaitement établi, on creuse le canal A'D'C'B, d'abord évasé en A'B' & ensuite réduit à sa véritable largeur C'D' ; qu'on établisse le platfond à la profondeur convenable au-dessous de la superficie des plus basses eaux de la rivière ; qu'on pave en dalles ce platfond, & qu'on fortifie, par un perré, les talus intérieurs sur l'espace A'D'C'B', pour éviter l'effet des affouillemens & les dégradations ; enfin, qu'on barre le canal en C'D' par un massif supérieur aux plus hautes eaux des crues, & percé de portes à vannes, qu'on fermera, à quelques pouces près, dans les hautes eaux, on sent, au premier abord, que les eaux de la rivière trouvant un endroit inférieur à leur superficie, s'y précipiteront par les vuides des joints des pierres, & de-là alimenteront le canal ; on sent aussi que jamais les eaux n'y manqueront, puisque la digue attire le courant (232 & 234) ; on sent, enfin, que dans les crues le gravier ne pourra pas entrer

dans le canal, puiſqu'il eſt pouſſé dans le ſens du courant, & que les eaux n'entrent dans le canal que par épanchement latéral & à travers les joints.

Au ſurplus, cet objet a beſoin de plus grands développemens: nous y reviendrons dans le traité des canaux d'arroſage, que nous publierons bientôt. En attendant, il nous ſuffit de dire que c'eſt d'après ces principes que nous avons fait exécuter, il y a environ dix ans, le canal de Château-Renard, dans le département des Bouches-du-Rhône, canal qui eſt dérivé de la Durance, & dont la priſe d'eau a été établie dans la digue de Noves.

322. Venons à préſent aux digues parallèles à la direction du courant. L'unique objet de ces digues eſt de fortifier les bords & de les mettre à l'abri de la corroſion; par conſéquent elles ne peuvent remplir leur objet que par leur continuité, ce qui deviendroit énormément coûteux, ſi l'on vouloit les employer à réduire une rivière dans une partie conſidérable de ſon cours. D'ailleurs nous avons vu (238) que lorſqu'elles ſont employées ſur des rivières dont le lit eſt trop large, elles attirent le courant de la même manière que les digues obliques; par conſéquent ces ſortes de digues ſont d'un uſage très-circonſcrit, & ne ſauroient être employées d'après les principes reçus, à la réduction du lit des rivières qui eſt l'objet principal que nous avons en vue.

Inſuffiſance & inconvéniens des digues parallèles à la direction du courant.

323. Puis donc qu'on ne peut ſe ſervir ni de digues obliques ni de digues parallèles à la direction du courant, il ne nous reſte plus que les digues perpendiculaires. Voyons ſi cette direction peut remplir nos vues.

Les digues perpendiculaires à la direction du courant, ſont les ſeules qu'on puiſſe employer pour garantir les bords des rivières.

Nous avons déjà dit (319 4°.) que l'objet d'une digue devoit être d'éloigner le courant. Comme (105 2°.) les eaux ſe portent conſtamment vers l'endroit le plus bas, il s'enſuit que celui où l'on veut conſtruire la digue, eſt cenſé plus bas que le reſte du lit; car, s'il étoit plus haut, par le principe que nous venons

d'indiquer (105 2°.), le courant s'en éloigneroit de lui-même, ſans avoir beſoin d'ouvrages de main d'homme. Donc, puiſqu'il ne ſuffit pas de pallier le mal, & qu'au contraire, il faut le détruire en extirpant la cauſe qui le produit; il faut, d'après le même principe, faire en ſorte que l'endroit dont il s'agit devienne le plus haut; car alors il eſt viſible que le courant s'en éloignera de lui-même.

Faut-il, en conſéquence, que l'homme encombre cet endroit, comme il encombre, par des matériaux de tranſport, les inégalités d'une route? Non; la nature, toujours ſage & prévoyante dans ſes opérations, a conſtamment placé le remède à côté du mal. En effet, ſi la rivière, par ſes corroſions ſur le fond, a rendu cet endroit plus bas que les autres, elle charie auſſi dans les crues beaucoup de matières étrangères, qui peuvent réparer ſes déſordres en s'arrêtant à l'endroit corrodé. Par conſéquent, la queſtion ſe réduit à forcer la rivière à réparer elle-même le mal qu'elle a produit par ſes corroſions, en l'obligeant à exhauſſer, par des dépôts, les endroits corrodés, & à les rendre plus hauts que le reſte du lit.

Ce n'eſt pas tout, nous avons vu (1re. Partie, Section III, Chapitre I & §. I, & Chapitre II, §. I.) que la groſſièreté des matières que la rivière charie eſt proportionnelle à leur force. La choſe d'ailleurs eſt aſſez ſenſible par elle-même, car il eſt clair que, plus le courant aura de force, plus l'effet qu'il produira à cet égard ſera conſidérable; or, dans ce cas, l'effet n'eſt que le tranſport des matières plus ou moins peſantes, plus ou moins groſſières; d'où il ſuit que les dépôts ſeront plus ou moins groſſiers, ſelon que la rivière aura plus ou moins de force à l'endroit où ils ſe formeront. Ces dépôts d'exhauſſement peuvent donc être en gravier, ou en ſable ou en limon; mais il ne ſuffit pas de gagner du terrein ſur le lit d'une rivière, il faut encore que ce terrein ſoit utile & pro-

fitable

fitable à l'agriculture, & que sous le moindre espace de tems, on puisse le cultiver & le rendre productif.

D'après cela il est évident que si un terrein formé par les dépôts n'étoit que gravier ou sable, il seroit stérile par lui-même; qu'il ne pourroit être rendu à l'agriculture que lorsqu'il se seroit couvert d'une couche de terre végétale, & que la chose ne pourroit avoir lieu qu'après un laps de tems plus ou moins long, selon les circonstances. Au contraire, si les dépôts n'étoient qu'en limon, ils pourroient immédiatement après la retraite de la rivière, être exploités & mis en produit, d'autant mieux qu'ils sont assez généralement composés de la partie la plus grasse des terres. Par conséquent, il est visible qu'il est essentiel, pour le bien de l'agriculture, que les dépòts d'exhaussemens ne soient composés que de limon & non de sable ni de gravier. D'où il suit que, d'après ce que nous avons dit ci-dessus, la force du courant doit devenir la moindre possible : car, sans cela, les dépôts seroient plus grossiers.

L'on voit par-là que la question se réduit à détruire la force du courant le plus exactement possible, sur l'endroit à exhausser, ou ce qui est la même chose, à y rendre les eaux mortes & stagnantes, du moins à peu de chose près; or, cette destruction ne peut s'opérer que par le moyen des digues. Les digues parallèles au courant ne peuvent pas l'effectuer, puisqu'à raison du parallèlisme, il ne doit pas y avoir de résistance opposée. Nous avons vu que les digues obliques attiroient le courant, & que loin de détruire sa force, elles lui donnoient une nouvelle énergie. Il n'y a donc que les digues perpendiculaires qui, par leur direction, puissent détruire radicalement & sans décomposition, l'intensité du courant, & en rendre les eaux mortes & stagnantes.

Donc *il n'y a que les digues perpendiculaires à la direction du courant qui puissent extirper la force du mal.*

La digue perpendiculaire produira des dépôts en amont. Fig. 22.

324. Soit donc la rivière KLMN (fig. 22) qui se porte vers BC, pour corroder la partie inférieure de la berge DC. Si l'on construit la digue AB parallèle à la berge & au lit général, elle garantira la berge sur toute la partie correspondante. Mais, d'une part, elle ne peut la mettre à couvert en entier, sans être prolongée sur toute sa longueur, ce qui entraîneroit des dépenses énormes; & de l'autre, elle ne détruira pas la cause première qui attire le courant, & qui consiste en ce que la partie du lit du côté de CD est plus basse que du côté de GH.

Si on remplace cette digue par la digue oblique AE, elle forcera le courant à s'établir à sa base, & ensuite elle le portera sur la berge opposée; plus souvent même le courant la contournera pour se porter sur la partie BC vers laquelle se trouve, par hypothèse, la plus forte pente; mais dans tous les cas, la cause du mal subsistera toujours; car il n'y aura point de dépôt & par conséquent aucun exhaussement du côté de la berge DC.

Enfin, qu'on substitue à ces deux digues, la digue perpendiculaire AF. Etant directement opposée à l'action du courant, la force des eaux sera totalement détruite. N'y ayant point de pente dans le sens transversal AF, la rivière se détournera à une certaine hauteur N, pour prendre sa route par la tête de la digue & s'établir sur NOPQ. Les eaux seront donc stagnantes au-devant de la digue AF, jusqu'à une certaine hauteur K en amont. Donc il se formera des dépôts sur toute la partie en amont de AF. Donc cette partie sera exhaussée & la cause du mal sera détruite.

Elle produira aussi des dépôts en aval. Fig. 22.

325. Mais ce n'est pas seulement sur le devant ou en amont, que la digue perpendiculaire occasionnera des dépôts; elle en produira encore sur le derrière ou en aval. En effet, il est aisé de sentir que dans une crue, les eaux seront supérieures à la superficie du gravier du lit majeur, & qu'en aval du point F elles s'extravaseront suivant leur niveau & se répandront sur toute la partie FACQ postérieure de la digue. Or ces eaux ne sont plus poussées

par les eaux correſpondantes en amont de AF à cauſe de l'interpoſition de la digue qui rompt toute continuité. Elles n'auront donc que la vîteſſe qu'elles acquerreront par la pente de cette partie du lit, vîteſſe qu'on ſent bien devoir être, ſous tous les rapports, incomparablement moindre que celle du courant principal. D'un autre côté, obligées de rentrer enfin dans le courant, elles en éprouveront la même réſiſtance qu'éprouve (286) un courant foible, quand il ſe préſente pour entrer dans un plus fort; c'eſt-à-dire qu'elles ſeront obligées de s'enfler, & par-là même de perdre le peu de vîteſſe qu'elles auroient pu avoir acquiſe.

Ainſi la vîteſſe des eaux extravaſées en aval de la digue AF, ſera très-petite. Or les eaux dépoſent d'autant plus qu'elles ont moins de vîteſſe. Donc elles dépoſeront auſſi ſur le derrière ou en aval de la digue perpendiculaire AF.

326. L'on voit, par tout ce que nous venons de dire, que les digues perpendiculaires ont la propriété d'obliger le courant à dépoſer en amont & en aval & à exhauſſer les endroits les plus bas par des dépôts de limon & non de gravier, dépôts qui peuvent être tout de ſuite rendus à l'agriculture, ce que n'opèrent pas les digues obliques, ni les digues parallèles. Les digues perpendiculaires ſont donc les ſeules qui puiſſent détruire la cauſe qui porte un courant vers un endroit déterminé, en rendant cet endroit plus élevé que le reſte du lit.

Au reſte, nous ne haſardons rien : car tout cela eſt pleinement confirmé par des expériences directes, que nous avons faites à ce ſujet ſur la Durance.

Erreur des anciens au ſujet de l'angle d'obliquité des digues.

327. L'uſage conſacré par le tems, vouloit que le *maximum* de l'angle BAE, formé par la direction générale du lit & par celle d'une digue, n'excédât jamais 45 degrés ou la moitié du quart de cercle. Il ſeroit difficile, pour ne pas dire impoſſible, de donner la raiſon d'un pareil règlement : on ne pouvoit en cela avoir que deux objets en vue; ſavoir : 1°. d'éloigner le

courant de l'endroit qu'on vouloit mettre à couvert ; 2°. de nuire le moins possible à la berge opposée. Or, l'un & l'autre de ces deux objets auroient été beaucoup mieux remplis sous un angle au-dessus qu'au-dessous de 45 degrés. En effet :

1°. Soit SR la force du courant : abaissons la perpendiculaire ST, elle exprimera la force détruite, & TR la force résidue. Pour éloigner le courant de cet endroit, il faut occasionner des dépôts, & conséquemment augmenter la force détruite ST. Or, ST ne peut augmenter que par l'augmentation de l'angle SRT = EAB, & elle diminuera lorsque cet angle deviendra plus petit : donc on auroit eu plus de dépôts, & conséquemment on auroit mieux réussi à éloigner le courant par un angle EAB au-dessus de 45 degrés, que par le même angle au-dessous.

2°. Plus l'angle SRT = EAB sera petit, plus la force résidue TR & la pente dans le sens de AE seront grandes : par conséquent, la rivière aura bien plus d'énergie pour se diriger suivant AE, & nuire à la berge opposée. Au contraire, plus l'angle SRT sera grand, plus la force résidue TR, & la pente suivant AE diminueront. Donc, alors le courant aura d'autant moins d'énergie pour établir son cours suivant la direction de AE, & arrivé à l'issue de la digue en E, trouvant plus de pente dans le sens EV du lit général que dans le sens EX du prolongement de la digue, il se dirigera plutôt suivant EV que suivant EX : donc l'angle au-dessus de 45 degrés seroit moins préjudiciable à la berge opposée que l'angle au-dessous.

Conséquences que l'on doit en tirer. Fig. 22.

328. De ce que nous venons de dire, on doit conclure que lorsque les digues obliques approchent de la direction perpendiculaire, elles peuvent aussi produire des dépôts, car, dans ce cas, la partie détruite ST de la force du courant, augmente continuellement, tandis que la force résidue TR diminue toujours plus ; donc, lorsque la force détruite sera telle que la force restante ne suffira plus au transport des ma-

tières, les dépôts commenceront. Mais il y a ceci à obſerver : c'eſt qu'alors les dépôts ſeront en gravier ou en ſable ; car, ils ne ſeront en limon, que lorſque la force reſtante ſera nulle. Ce qui eſt conforme à l'expérience.

Revenons aux digues perpendiculaires.

329. Lorſqu'il s'agit d'employer ces digues pour réduire une rivière dont le lit majeur eſt fort large, il ſe rencontre ſouvent des cas où leur longueur ſeroit des plus conſidérables, & où conſéquemment elles entraîneroient dans des dépenſes énormes. Il s'agit donc de voir s'il ne ſeroit pas poſſible d'en rendre la conſtruction plus aiſée & plus économique.

On doit conſtruire un éperon à la tête de la digue perpendiculaire, pour la mettre à couvert. Fig. 23.

Soit pour cela ABCD (fig. 23) le lit majeur d'une rivière à réduire, ſoit pareillement la digue perpendiculaire EF ; à ſon extrêmité conſtruiſons un éperon GH qui lui ſoit auſſi perpendiculaire ou qui ſoit parallèle à la direction du courant, & diſpoſons-le de façon que la plus grande partie FG ſoit du côté d'amont ; s'il ſurvient une crue, l'eſpace EFGK ſera occupé par des eaux mortes, puiſqu'elles n'auront point d'iſſue. Suppoſons qu'une branche quelconque LMNO ſe porte ſur la digue perpendiculaire EF ; imaginons la maſſe d'eau ſtagnante EFGK diviſée en une infinité de tranches verticales 1, 2, 3, 4, 5, &c. Toutes ces tranches ne pourront être refoulées par le courant ſans détruire une partie de ſa vîteſſe & de ſa force. La tranche 1 lui en fera donc perdre un degré, la tranche 2 lui en détruira un ſecond, & ainſi de ſuite ; de ſorte que le courant n'arrivera pas juſqu'à la digue FF, ſi le nombre de tranches eſt aſſez conſidérable, & comme (97) la réſiſtance ſe fait ſentir de proche en proche en amont juſqu'à une aſſez grande diſtance ; que (105. 3°.) le courant ſe porte toujours vers l'endroit où il trouve moins de réſiſtance, & qu'il eſt viſible qu'il en trouve moins entre l'éperon GH & la berge DC, que dans la partie correſpondante à la digue EF ; à une certaine hauteur la branche LMNO ſe détournera

& prendra la position PQRS en passant le long de l'éperon GH; dans ce cas les eaux qui occuperont l'espace APFE ne seront que des eaux épanchées latéralement, & qui feront les fonctions de berge pour soutenir le courant dans sa nouvelle position PQRS.

La chose est constatée par l'expérience de pareilles digues que nous avons fait exécuter sur la Durance.

L'éperon empêche à le courant d'atteindre la digue perpendiculaire. Fig. 23.

330. Pour mieux se convaincre de la vérité de notre assertion, supposons qu'un filet quelconque LO de la branche LMNO parvienne jusqu'à la digue EF, & la choque au point T. Ce filet ne pouvant pas continuer sa route par l'interposition de la digue EF, ni s'échapper du côté de la berge AE dont la hauteur est supposée supérieure à la surface des eaux, sera nécessairement forcé de s'échapper vers PG, en passant à la tête G de l'éperon. Mais la pente, suivant la ligne droite LG, est plus grande que suivant la ligne brisée LTG. Donc (105 2°.) le filet LO suivra plutôt la direction LG que LTG: ainsi l'expérience & les loix de la nature sont d'accord sur cet objet.

Autre manière d'envisager la chose. Fig. 23.

331. On peut envisager, sous un autre point de vue, ce que nous avons dit au n. 329 au sujet de la résistance opposée par les diverses tranches 1, 2, 3, &c. Servons-nous, pour cela, d'une comparaison: nous voyons tous les jours les plus grandes forces détruites par des résistances qui cèdent peu-à-peu. Un boulet de canon, par exemple, est amorti par la résistance d'un ballot de laine. Dans ce cas, les divers filamens cèdent en résistant & détruisent, à chaque instant, une partie de la force du boulet, jusqu'à ce que la somme de ces destructions partielles soit égale à la force totale primitive; or les lames d'eau 1, 2, 3, &c. produisent le même effet sur le courant LMNO. Donc elles doivent aussi détruire sa force par degrés.

Nous pouvons donc dire que la masse d'eaux mortes & dormantes EFGK est une digue d'eau que le courant doit forcer

avant de parvenir à la digue EF, & qui est destinée à mettre à couvert EF par sa réaction contre l'action du courant.

332. On doit sentir à présent quel est l'objet de l'éperon GH & pourquoi il va au-devant du courant. C'est cet éperon qui, comme on voit, est la cause première de la masse d'eau stagnante qui met la digue EF à couvert de l'action du courant. Quelque soit la longueur de EF, l'effet produit par l'éperon n'en sera pas moins le même. Il se formera constamment une digue d'eau EFGK au-devant de EF qui détruira la force du courant & l'empêchera de parvenir jusqu'aux ouvrages. Or, non-seulement EF ne sera point dégradée par le courant, mais encore elle sera fortifiée par les dépôts qui se formeront au-devant par la digue d'eau. Ainsi on doit regarder l'éperon GH comme la partie essentielle des ouvrages. En conséquence il convient de l'envisager sous tous ses rapports; mais auparavant nous allons déduire, de ce que nous avons dit, une conséquence infiniment essentielle dans la pratique & qui entraîne après elle la plus grande économie.

L'éperon occasionne une masse d'eaux stagnantes au-devant de la digue. Fig. 23.

333. Puisque par le moyen de l'éperon GH il n'y aura aucun choc sur EF, & que cette digue ne fera d'autres fonctions que de soutenir la pression de la masse d'eaux stagnantes sur EFGK, il seroit très-inutile de construire EF avec la même solidité & les mêmes précautions que si elle devoit recevoir l'action du courant: en conséquence, il suffira que la digue EF soit une simple chaussée en terre ou en gravier, & dont le couronnement soit supérieur à la superficie des plus hautes eaux.

Donc il suffira que la digue ne soit qu'une simple chaussée en terre ou en gravier. Fig. 23.

334. Quant à l'éperon GH, il y a plusieurs observations à faire.

Observations essentielles sur la construction de l'éperon. Fig. 23.

1°. Le courant devant nécessairement s'établir le long du parement GH, & y exercer son action latérale & celle de corrosion sur le fond, il est essentiel qu'il soit fortifié de façon que ces actions ne puissent point le dégrader; car étant l'ame de l'ouvrage, une fois détruit, la ruine de tout le reste s'en suivroit.

2°. La digue EF sera d'autant mieux mise à couvert par la digue d'eau EFGK que le nombre de tranches ou lames élémentaires 1, 2, 3, &c. sera plus considérable. Or ce nombre dépend de la longueur de la partie FG de l'éperon en amont de la ligne EF. Donc les ouvrages sur EF seront d'autant mieux assurés que la partie FG de l'éperon sera plus longue.

3°. Arrivé en H, le courant doit s'extravaser sur les derrières de EF; & il est possible qu'il y ait un mouvement de turbination qui produise un gouffre. Il faut donc éloigner ce danger de EF, qui n'étant qu'en terre & gravier (333) en seroit infailliblement dégradée; en conséquence, l'éperon doit déborder la digue EF en aval d'une certaine quantité FH.

Quelles sont les parties de l'éperon qu'il faut fortifier. Fig. 23.

335. Il ne suffit pas de fortifier le parement extérieur de l'éperon; les deux abouts G & H, & une partie des paremens de revers doivent être aussi soigneusement fortifiés; en effet:

1°. Le courant PQRS en s'établissant le long de GH, agira nécessairement sur l'about G; d'autre part les eaux qui couleront pendant les crues sur l'espace AKGP, ne rentreront, dans le courant, qu'en G; ainsi, sous ces deux rapports, l'about G exige d'être soigneusement fortifié.

2°. A raison de ce que nous venons de dire, il pourra arriver que vers l'about G & intérieurement à l'espace EFGK, il s'établisse, dans certaines circonstances, des gouffres résultans des mouvemens de turbination; par conséquent, il est prudent de fortifier pareillement le revers de l'éperon vers l'about G.

3°. C'est par la même raison qu'on doit pareillement fortifier avec soin l'about H d'aval & le revers correspondant à FH.

La longueur de l'éperon du côté d'amont, est en raison inverse de la pente de la rivière. Fig. 23.

336. Pour déterminer le filet LO à prendre la direction LG, il faut que la pente par LG soit plus grande d'une quantité déterminée que la pente par la ligne brisée LTG; or, plus

plus la pente de la rivière ſera grande, moins il faudra de longueur à la ligne briſée LTG pour ſe procurer une différence déterminée de pente ſur des eſpaces égaux à LG. Au contraire, plus la pente ſera petite, plus la ligne briſée doit être longue. Donc la ligne TG ſera plus courte dans le premier cas, & plus longue dans le ſecond : il en ſera par conſéquent de même de FG. Donc *la longueur FG de l'éperon en amont, ſera ſenſiblement en raiſon inverſe de la pente de la rivière.*

337. Pour ce qui eſt de la longueur de la partie FH en aval, comme elle eſt affectée (334 3°.) à garantir la digue EF de l'effet des gouffres produits par le mouvement de turbination des eaux, elle doit viſiblement être proportionnée à la longueur de ces gouffres. Or, cette longueur eſt plus ou moins grande, ſuivant le volume d'eau des rivières. Conſéquemment, la longueur de la partie FH de l'éperon en aval de la digue, ſera comme le volume d'eau de la rivière ſur laquelle on opérera.

Quelle doit être la longueur de la partie en aval.
Fig. 23.

338. On voit par-là que c'eſt à l'expérience qu'il faut recourir, pour trouver la longueur des parties d'amont & d'aval de l'éperon. Lorſqu'on s'en ſera aſſuré ſur une rivière dont on connoîtra le volume d'eau & la pente, il ſera aiſé de trouver ces dimenſions dans toute autre rivière.

Expériences relatives à ces dimenſions.

Nous fîmes nos premiers eſſais à ce ſujet ſur la Durance à Orgon, dans le département des Bouches-du-Rhône. En cet endroit, la pente réduite de la rivière eſt d'environ 14 pouces ſur 100 toiſes de longueur. Nous ne donnâmes d'abord que 15 toiſes de longueur à FG; l'expérience nous fit voir qu'elle étoit inſuffiſante, & que la rivière, ayant abaiſſé ſon lit devant l'éperon, il pouvoit ſe former des branches qui circulaſſent dans l'eſpace AEFP pour rejoindre la branche-mère en G. Nous avons évité en grande partie cet inconvénient en donnant 25 toiſes à FG. Cependant cette longueur eſt encore inſuffiſante, & il paroît que, ſur cette rivière, FG ne doit pas avoir moins de 50

toifes ; nous nous en ferions aſſurés poſitivement, mais la révolution & diverſes circonſtances particulières ne nous l'ont pas permis.

Quant à FH nous lui avons conſtamment donné de 8 à 10 toiſes, & l'expérience nous a fait voir qu'elle ſuffiſoit ſur la Durance.

Les atterriſſemens produits par les dépôts, auront la forme d'un glacis incliné vers le courant.

339. Nous terminerons ce paragraphe en diſant encore un mot ſur les atterriſſemens produits par les digues perpendiculaires. Les eaux dépoſeront d'autant plus qu'elles ſeront plus ſtagnantes ou qu'elles auront moins de mouvement. Or, plus elles ſeront éloignées du courant, plus elles ſeront tranquilles; au lieu, qu'en avançant vers la rivière, elles participeront toujours plus à ſon mouvement. Donc les dépôts ſeront plus conſidérables loin du courant & ils diminueront en s'approchant. Par conſéquent *ils auront la forme d'un glacis incliné vers le courant*, & c'eſt ce que l'expérience juſtifie.

§. II.

Des diverſes eſpèces de Digues ; leur profil, leurs matériaux, leur conſtruction, & des cas où on doit les employer.

Problème relatif au profil des murs d'un baſſin. Fig. 24.

340. Avant d'entrer en matière, nous allons chercher une formule générale qui, avec quelques modifications, puiſſe s'adapter à la plupart des digues dont nous traiterons.

Suppoſons que AK (fig. 24) ſoit le parement intérieur du mur d'un baſſin dans lequel l'eau s'élève juſqu'en A, & que ce mur ſoit compoſé de lames horiſontales P*m* infiniment minces & liées entr'elles par le ſeul frottement. Il s'agit de trouver l'équation à la ligne AML qui terminera les lames P*m*, *pm'* &c., de façon qu'elles ſoient en équilibre avec l'action de l'eau.

S'il n'y avoit point de frottement, une lame quelconque P*m* étant pouſſée, gliſſeroit ſur l'inférieure *pm'*. Mais à cauſe de la

résistance du frottement, avant qu'elle soit sur le point de glisser, il faudra qu'il y ait une certaine quantité de force absorbée. Ainsi, le corps qui opposera cette résistance, recevra lui-même cette force : or, cette résistance est opposée par les irrégularités de la surface supérieure de la lame pm', qui engrènent celles de la surface inférieure de la lame Pm. Donc, dans le cas d'équilibre, l'action de l'eau sur la lame Pm se transmet à la lame pm'.

Par un semblable raisonnement, on voit que cette même action doit se transmettre à toutes les lames inférieures & qu'il en sera de même des actions sur les lames pm', $p'm''$, &c. Donc, dans l'équilibre, une lame quelconque est censée éprouver, de la part de l'eau, une action égale à l'action entière de l'eau supérieure.

Nommons AP, x & PM, y. Pp sera $= dx$. Soient la pesanteur spécifique des matériaux $= q$; le rapport de la pression à la résistance du frottement $= m$; la vîtesse produite par la gravité en une seconde, c'est-à-dire 30 pieds $= p$, & la force du choc perpendiculaire de l'eau mue, avec un pied de vîtesse par seconde, contre une surface immobile d'un pied carré $= n$; nous aurons l'action de l'eau sur P$p = \int 2npxdx$.

La tranche Pm portera toute la partie supérieure APM $= \int ydx$. Donc la résistance du frottement sera $= \frac{q\int ydx}{m}$

Et puisqu'il doit y avoir équilibre entre l'action de l'eau & la résistance du frottement, nous aurons l'équation $\frac{q\int ydx}{m} = \int 2npxdx$, ou en différenciant les deux membres, $\frac{qydx}{m} = 2npxdx$: d'où l'on tire $y = \frac{2mnpx}{q}$; équation au triangle.

Pour construire ce triangle sur la verticale AC (fig. 25.), prenons AT $= q$, & tirons l'horisontale TV $= 2mnp$. Si nous joignons le point A au point V par la droite AVF, le triangle ACF satisfera à la question : car en nommant AR, x & RH, y, on aura la proportion $q : 2mnp :: x :$ RH $= y \frac{2mnpx}{q}$. Fig. 25.

341. Menons AD parallèle à CF &, par un point quelconque G pris ſur cette ligne, tirons aux points C & F les lignes GC, GF; les élémens du triangle GCF ſeront égaux aux élémens correſpondans du triangle ACF. Donc le triangle GCF ſatisfera auſſi à la queſtion. Il en ſera de même de tout autre triangle qui aura pour baſe CF & ſon ſommet en quelque point de AD.

Applications aux digues ſur les rivières. Fig. 25.

342. Appliquons aux digues ſur les rivières la ſolution de ce problême. Suppoſons qu'une rivière choque le parement AC, que ſes eaux s'élèvent juſqu'en B, &, qu'en cet endroit, la hauteur due à leur vîteſſe ſoit AB; il eſt évident, qu'abſtraction faite des obſtacles qui empêchent (97) que la vîteſſe des eaux inférieures ne ſoit exprimée par les ordonnées d'une parabole, l'action ſur BC ſera à-peu-près la même que dans le problême du n. 340, ſi l'on eût ſuppoſé le réſervoir entretenu plein & un orifice vertical rectangulaire de la hauteur de BC. Nous diſons *à-peu-près*; car (340) l'action de l'eau ſur AB ſe fait ſentir à toutes les lames inférieures dans le réſervoir entretenu plein, tandis que, dans les rivières, la partie AB n'éprouve aucune action. Mais la différence eſt à l'avantage des travaux dont nous traitons, puiſque nous ſuppoſons par-là que l'action ſur la digue eſt un peu plus grande que dans la réalité; ce qui n'eſt pas un défaut. Donc tout ce que nous venons de dire (340 & 341) peut s'appliquer aux digues ſur les rivières, &, par conſéquent, le triangle ACF ou tout autre de même baſe & de même hauteur pourra en être le profil.

L'expérience rend inutile la ſolution de ce problême. Fig. 23.

343. Tel eſt le réſultat de la pure théorie. Si l'architecture hydraulique étoit encore au berceau, la formule du n. 340 pourroit nous diriger dans nos eſſais & nos expériences; mais aujourd'hui il ſeroit inutile & même déplacé de s'y conformer: car elle nous jetteroit dans des dépenſes ſans fin pour faire des expériences qui, dans tous les cas, nous fiſſent connoître le rapport de la force de tenacité des matériaux à leur preſ-

ſion ; & elle ne nous fait voir qu'une choſe que tout le monde ſait, ſavoir : que les ouvrages ſur les rivières doivent avoir un empattement & plus de largeur à la baſe qu'au couronnement, mais la loi de diminution eſt infiniment mieux & plus ſûrement déterminée par l'expérience que par l'équation. En effet, en recueillant tout ce que nous avons obſervé, ſoit ſur nos ouvrages, ſoit ſur ceux d'autrui, nous pouvons réſumer ce qui ſuit, ſavoir :

1°. Dans les digues EF (fig. 23^{e}.) conſtruites en terre ou en gravier & deſtinées à être terminées par un éperon GH, le couronnement doit avoir 9 pieds de largeur, & les talus, tant antérieurs que poſtérieurs, une ſaillie de 3 de baſe ſur 2 de hauteur ; ils peuvent même être réduits à la diagonale du carré, ou à un de baſe ſur un de hauteur.

2°. Les mêmes dimenſions auront lieu dans les mêmes digues lorſqu'elles ſeront fortifiées d'un péré quelconque.

On peut même, dans l'un & l'autre cas, réduire la largeur du couronnement ſuivant le volume d'eau & la rapidité des rivières, mais on doit conſtamment obſerver qu'il vaut mieux pêcher par excès que par défaut.

3°. Dans les digues en pierre, l'épaiſſeur à la baſe doit être égale à la hauteur. Quant à la largeur du couronnement, elle varie ſuivant les conſtructions & les circonſtances.

Si la digue eſt parementée en taille & conſtruite à mortier de chaux & ſable, le couronnement aura 5 pieds de largeur ſur les rivières fort rapides, & ſon *minimum* ſera de 3 pieds dans celles qui ont peu de vîteſſe.

Si elle eſt conſtruite en blocaille ou en pierre d'échantillon, & ſans mortier, le *maximum* de la largeur au couronnement ſera de 7 à 8 pieds, & le *minimum* de 4 pieds.

Au ſurplus, nous parlons des digues ſur les rivières : car s'il eſt queſtion d'un ouvrage ſur un torrent-rivière pris à

l'endroit où il tient plus du torrent que de la rivière, on sent bien qu'il y auroit des modifications.

En un mot, comme dans une infinité de cas les ouvrages dépendent des localités qu'on sait être variées à l'infini, il y a aussi une infinité de circonstances où la sagacité & les connoissances de l'ingénieur doivent suppléer à ce qui peut manquer à ce traité: car on doit sentir qu'il est impossible d'établir des principes qui embrassent tous les cas sans aucun amendement.

Nous allons à présent entrer dans les détails de chaque espèce de digue en particulier.

ARTICLE PREMIER.

Des digues en terre ou gravier qui doivent être terminées par un éperon.

Dimensions des digues perpendiculaires.

344. D'après ce que nous avons vu (324 & 333), ces digues doivent être employées dans le cas où il s'agit de forcer la rivière à exhausser, par des dépôts, une partie déterminée du lit, & elles doivent être perpendiculaires à la direction du courant, s'il s'y est déjà établi, ou à celle qu'il prendroit, s'il s'y établissoit.

Par le même n. 333 leur hauteur doit être supérieure à la superficie des plus hautes eaux de la rivière; cet excédent doit être au moins de 18 pouces. Ainsi la première chose à faire en pareil cas est de s'assurer, avant tout, de la plus grande hauteur des eaux, dans les plus fortes crues, & de la rapporter, par le niveau, à un point fixe pris sur la terre ferme adjacente. Ce point servira de repére lors de la construction.

On prendra, pareillement au niveau, le profil du sol, sur la direction de la digue à construire, & on le rapportera au repére dont nous venons de parler. Alors on aura toutes les données

pour avoir les coupes & profils de l'ouvrage. Mais avant d'en parler, nous allons dire un mot des matériaux qu'on doit employer.

345. Nous avons déjà dit (333) qu'il suffisoit, par le moyen de l'éperon GH, que la digue EF fût une simple chaussée en terre ou en gravier. On ne doit pas se dissimuler que la terre est préférable au gravier; 1°. Parce que les matériaux, tassés seulement par le roulage des voitures qui servent à leur transport, se lient mieux; 2°. parce que les terres empêchent les filtrations de l'amont à l'aval à travers la chaussée; ce qui mérite d'être pris en considération; 3°. enfin, parce qu'après l'atterrissement formé & la retraite des eaux on peut fortifier les talus avec de la broussaille qui croîtra bien mieux dans la terre que dans le gravier.

Matériaux des digues perpendiculaires.

Mais aussi, d'un autre côté, le gravier a son avantage, en ce que, 1°. étant ordinairement sur la place, il en coûte très-peu pour le transport; 2°. l'agitation des eaux stagnantes ne dégrade pas les talus par la corrosion, ainsi que cela a lieu sur les talus en terre.

Nous avons expérimenté l'un & l'autre, & nous avons trouvé que la manière la plus économique & la plus sûre étoit de faire la chaussée en gravier, ayant seulement soin de ménager, dans le noyau & de bas en haut, un conroi de terre bien battue d'environ 2 pieds d'épaisseur, pour arrêter les filtrations. Dans ce cas les talus doivent être les plus grands possible. Par-là, l'agitation des eaux ne les dégradera pas.

346. Mais si la terre étoit plus à portée que le gravier, on sent bien qu'il faudroit l'employer de préférence. Alors on donnera le talus de 3 de base sur 2 de hauteur (343 1°.) & on le couvrira d'une couche de gravier d'un pied d'épaisseur. A défaut, il faudroit le garantir par des clayonnages ou palissades tressées en osier au droit de la ligne de la surface des eaux.

Coupe des digues perpendiculaires. Fig. 26.

347. Ainsi le profil transversal ou la coupe de ces digues sera un trapèze tel que ABCD (fig. 26), dans lequel EF est la ligne des plus hautes eaux, & AG ou DH est à GB ou HC :: 2 : 3. Et dans le cas ou la digue seroit en gravier, KLMN exprimeroit le conroi en terre (345).

Construction des digues perpendiculaires hors de l'eau.

348. L'exécution de la chaussée ne souffre aucune difficulté lorsqu'il n'y a pas de l'eau dans l'endroit où elle doit être construite : elle n'en souffre pas davantage, s'il n'y a de l'eau que dans les crues; mais lorsqu'il y en a habituellement, il est à propos de détourner préalablement la branche qui y est établie. Nous donnerons plus bas les moyens à employer pour cet objet.

Construction des digues perpendiculaires dans l'eau. Fig. 27.

349. S'il n'étoit pas possible de mettre à sec l'emplacement proposé, comme, par exemple, si la rivière n'avoit pas un lit majeur, la construction en seroit plus difficile; mais elle pourroit néanmoins s'effectuer par la méthode suivante.

Soit ABCD (fig. 27.) le lit de la rivière, & GHLK la superficie sur laquelle on doit établir l'empattement de l'ouvrage; on cernera cet espace par des pieux plantés à environ 15 pouces, plus ou moins, de distance les uns des autres, sur les lignes GH, HL & LK.

Si la rivière n'est pas rapide, on clayonnera ces palissades, & ensuite on comblera l'espace qu'elles renferment, avec du gravier ou de la pierraille, & à défaut avec de la terre. On formera ainsi une platte-forme au-dessus de la surface des eaux, & sur cette platte-forme on construira la chaussée ainsi que sur un emplacement à sec.

Si la rivière a beaucoup de rapidité, on n'aura pas besoin de tresser la palissade; mais on jettera de la blocaille en amont de GH & de KL & le long de HL intérieurement. Les pieux seront destinés à arrêter ces blocs contre l'action du courant. Lorsqu'ils seront parvenus à la surface des eaux, on remplira le vuide restant sur GHLK avec du gravier ou de la pierraille, jusqu'au

jusqu'au-dessus de l'eau & sur cette platte-forme on construira la digue.

Au surplus, on doit observer de n'exécuter ce genre de travaux que dans le tems des basses eaux, & d'en presser l'exécution pour ne pas se laisser surprendre par les crues.

ARTICLE II.

Des digues à pérés.

350. Par digues à *pérés*, on entend les digues en terre ou gravier dont le parement exposé à l'action du courant, est revêtu en pierre sèche. On distingue trois sortes de pérés.

Il y a trois sortes de pérés.

Le péré de la première sorte est composé de pierres d'appareil, ayant la forme de dalles. Ces pierres sont fort en usage sur la Durance dans la partie inférieure de son cours; elles ont ordinairement de 6 à 7 pieds de longueur, au-delà de 2 pieds de largeur, & au moins 18 pouces d'épaisseur. Nous donnerons à cette sorte de péré le nom de *péré en dalles.*

Le péré de la deuxième partie est composé de pierres en blocs bruts & de forme irrégulière; on l'emploie quand on n'a pas en sa disposition des carrières d'où l'on puisse tirer des dalles. Nous l'appellerons *péré en blocaille.*

Le péré de la troisième sorte est composé de pierres brutes & d'une grosseur au-dessous des blocs. On y a recours lorsqu'on manque de dalles & de blocs. Nous l'appellerons *petit péré.*

Conditions & qualités générales des digues à pérés.

351. Les digues à pérés peuvent être employées très-utilement par-tout & particulièrement aux éperons des digues perpendiculaires, aux chaussées des chemins établis dans le lit des rivières &c.; mais elles exigent diverses précautions qui diffèrent suivant l'espèce de péré. En général, on doit regarder comme principe fondamental que les pérés soient composés des plus grosses pierres possibles disposées de façon que, quoiqu'il

arrive, elles mettent constamment la chaussée à couvert de l'action des eaux. Par conséquent, comme le courant est censé s'établir à leur base & les affouiller, il faut que les perés soient mis à l'abri des affouillemens par des *bermes* ou *crêches* qui les soutiennent au besoin.

Nous allons entrer dans les détails qui appartiennent à chaque espèce de peré respectivement en commençant par la première.

Construction des digues à peré en dalles.

352. Les pierres des perés en dalles doivent être simplement couchées le long du talus de la chaussée sur leur plus grande face, de façon que leur longueur soit dans le sens de la pente du glacis. Il est à propos qu'elles aient toutes la même largeur, qu'elles soient placées, bout-à-bout, les unes à la suite des autres, sur la hauteur du talus, de manière qu'elles ne soient point en liaison & que leurs joints, dans ce sens, se correspondent, & enfin que ces mêmes joints soient aisés & ouverts d'environ 2 pouces ou plus.

On doit aussi observer que le talus de la chaussée soit le plus rapide possible. Ainsi, s'il est en terre, comme les terres ont un certain degré de tenacité, sur-tout lorsqu'elles ont été battues ou foulées, l'angle formé par la ligne du talus & celle du niveau devroit excéder 45 degrés. Si, au contraire, il est en gravier, il suffira qu'il prenne l'angle naturel.

Enfin, lorsqu'on exécutera ces ouvrages sur des rivières fort rapides, dont les crues seront fort longues, & qui, par conséquent, affouilleront beaucoup, on ne se bornera pas à une simple assise de dalles; mais on en emploiera deux, trois & même quatre & plus, suivant les circonstances & la nature de la rivière ou la profondeur des affouillemens, observant toujours de les placer, ainsi qu'il a été dit ci-dessus, & d'interposer une couche de sable grossier de deux poouces d'épaisseur.

Fig. 28.

Ainsi ABCD (fig. 28.) est la coupe transversale de la chaussée, & BC le talus exposé à l'action du courant. On y voit

quatre aſſiſes de dalles repréſentées par les nombres 1, 2, 3 & 4 reſpectivement, placées les unes ſur les autres, & ſéparées par une couche de ſable.

Dans la figure 29, EFGH repréſente le plan du talus BC de la figure 28. On y voit que les pierres K, L, M ſont placées bout à bout dans le ſens de leur longueur & qu'elles ſe correſpondent exactement. On y voit auſſi qu'il en eſt de même des pierres N, P, Q, & que ces trois dernières ſont ſéparées des trois premières par un joint qui laiſſe un certain vuide dans l'entre-deux des deux files. Fig. 29.

La raiſon de cette conſtruction eſt ſimple & ſe préſente d'elle-même; car, ſi l'on ſuppoſe que la berme dont nous parlerons bientôt & qui défend la baſe de la digue ABCD (fig. 28^e.) s'enfonce par l'effet de la corroſion & de l'affouillement, l'aſſiſe 4 n'étant plus ſoutenue, deſcendra & ſuppléera à la berme; ſi le volume eſt inſuffiſant, elle ſera ſuivie de l'aſſiſe 3, & enſuite de l'aſſiſe 2.; d'où il ſuit que le talus de la chauſſée ne ſera jamais à découvert, & que ſi l'on prévoyoit des progrès effrayans dans les affouillemens, on auroit le tems néceſſaire pour remplacer les aſſiſes qui ſont deſcendues, juſqu'à ce qu'enfin l'ouvrage eût pris une aſſiette invariable par la ſtabilité du fond; par conſéquent, il eſt eſſentiel de faciliter la deſcente des dalles. Fig. 28.

Or, 1°. plus il y aura de pente dans le talus de la chauſſée, plus la deſcente des dalles ſera facile.

2°. Elle ſera encore facilitée par le lit de ſable groſſier interpoſé entre les aſſiſes 1, 2, 3 & 4: car les grains de ce lit de ſable ſeroient comme des rouleaux pour faire gliſſer les aſſiſes ſupérieures ſur les inférieures.

3°. Elle ſera facilitée enfin par l'intervalle des joints dans le ſens de la pente du talus, tel que celui qui ſépare les pierres K, L, M, des pierres N, P, Q, (fig. 29^e.) & qui rend les trois premières indépendantes de leurs voiſines. Fig. 29.

Donc, par cette conſtruction, les dalles auront conſtamment la liberté de gliſſer ſucceſſivement les unes ſur les autres ſans ſe gêner mutuellement, & tout ſera défendu en même-tems, la baſe & le talus. Par conſéquent c'eſt cette forme qu'il paroît qu'on doit adopter dans les digues à péré en dalles.

C'eſt d'ailleurs ce que l'expérience nous a appris dans la conſtruction des digues ſur la Durance.

La baſe ne doit pas être défendue par un pilotage.

353. Puiſque la baſe doit eſſentiellement être miſe à couvert des affouillemens, le premier moyen qui ſemble ſe préſenter de lui-même eſt le pilotage. Mais outre que ce moyen eſt exceſſivement coûteux dans les rivières ſujettes à corroder & à affouiller le fond, telles que toutes les rivières qui charient du gravier, il ſeroit inſuffiſant pour cet objet; car il n'empêcheroit par les eaux d'agir dans l'entre-deux des pilotis juſqu'à ce qu'elles fuſſent parvenues au droit de la chauſſée qui, dès-lors ſe trouvant minée, ſeroit ruinée à fond. Il n'y auroit que le cas où l'on emploieroit des pal-planchers, que le pilotage pourroit remplir cet objet. Mais le nôtre eſt d'économiſer dans les frais de conſtruction, &, aſſurément, en employant ce moyen, nous n'en prendrions pas la route.

Deſcription des bermes à ſubſtituer aux pilotages.

354. Le ſecond moyen de garantir la baſe des digues, & qui, ſans contredit, eſt le plus ſimple, le plus sûr & le plus économique ſur ces ſortes de rivières, & même ſur toutes les rivières poſſibles, conſiſte dans l'emploi des *bermes* ou *crêches*. Les *bermes* ne ſont autre choſe qu'un tas de pierres de même volume que celles qui compoſent le péré, & qu'on place à la baſe de la digue & au-devant du parement. A meſure que le courant affouille, ces pierres deſcendent; mais elles ne peuvent pas être entraînées, ſoit (208) parce qu'elles ſont trop volumineuſes, ſoit ſur-tout parce qu'elles ſe ſoutiennent mutuellement. Elles deſcendront donc juſqu'à ce que les plus baſſes ſe ſoient enfoncées en totalité ou en partie dans le gravier du fond après l'affouillement, & dans cet état, elles ſerviront de

base aux pierres supérieures, qui, pour lors, ne permettront plus au courant d'agir sur la base de la digue. Ainsi, quand les choses seront parvenues à ce point, on peut être assuré que la stabilité de la digue sera à toute épreuve.

Détermination des dimensions des bermes.

355. De-là on pourra évaluer, au moins par approximation, la hauteur à donner aux bermes : car, puisqu'elles doivent combler avec usure le vuide occasionné par l'affouillement, si, par observation ou par quelque moyen déduit des principes que nous avons établis, on détermine la profondeur de la corrosion qui doit avoir lieu au pied de la digue, & qu'à cette profondeur, on ajoute 1°. la plus basse pierre qui (208) est censée enterrée dans le gravier ; 2°. les deux plus hautes qui doivent couvrir le pied de la digue ; on aura la hauteur totale approchée de la berme.

Dimensions des bermes.

Quant à la largeur, on sent qu'elle doit encore être proportionnée à la profondeur de l'affouillement. Car, en descendant, les pierres prendront un talus quelconque, qu'on peut supposer de 45 degrés, & dont l'empattement sera en proportion avec cette profondeur.

Il ne reste donc plus que la largeur du couronnement de la berme à déterminer. Cette détermination dépend de la nature de la rivière & de l'expérience. Plus la rivière sera considérable & rapide, plus cette largeur doit être grande, pour amortir, autant qu'il sera possible, par les parties saillantes des pierres & par la diminution de profondeur des eaux, l'action du courant sur la digue pendant les crues. Sur la Durance, par exemple, il paroît prouvé par l'expérience, que cette largeur doit être d'environ 9 pieds.

Fig. 28.

Ainsi, dans la figure 28, supposons que le gravier s'élevât primitivement jusqu'à la ligne RY, & que, par l'effet de la corrosion, le fond se soit abaissé jusqu'à la ligne VX ; que VS représente la hauteur de l'assise enterrée dans le gravier du

fond (208), & que l'angle STY ſoit de 45 degrés, le trapèze RSTY ſera la ſection approchée de la berme.

Au ſurplus, comme cette partie eſt eſſentielle, on doit obſerver qu'il vaut mieux pécher par excès que par défaut.

Dans les digues à péré de dalles, les bermes ſeront auſſi en dalles. Fig. 28.

356. Dans le cas dont nous parlons, & où le péré doit être en dalles, la berme RSTY ſera auſſi en dalles. Les dalles de la baſe pourroient être couchées, & les ſupérieures inclinées : mais comme elles ſont toutes deſtinées à deſcendre, pour faciliter cette deſcente & maintenir leur arrangement, autant qu'il ſera poſſible, il ſera mieux de les incliner toutes ſous le même angle que les aſſiſes 1, 2, 3 & 4 du parement de la chauſſée: alors il n'y aura que la tête des plus baſſes qui s'enfoncera dans la partie VSTX du fond au-deſſous de la ligne VX (208).

Revenons à préſent à nos digues à pérés en dalles.

357. Lorſque la digue devra ſervir d'éperon à une chauſſée perpendiculaire, telle que celle dont nous avons parlé à l'article précédent, la hauteur & le couronnement de la chauſſée ABCD (fig. 28) ſeront les mêmes que la hauteur & la largeur du couronnement de la chauſſée perpendiculaire ABCD (fig. 26). Les talus ſeront pareillement les mêmes par-tout où il n'y aura pas de pérés, mais dans la partie à pérés, ces talus ſeront plus rapides, conformément à ce que nous avons dit (352); par conſéquent, on voit que *le couronnement doit être ſupérieur aux plus hautes eaux de la rivière.*

Cas où la digue ſeroit deſtinée à ſervir de chauſſée pour un chemin.

358. Si la digue eſt deſtinée à ſervir de chauſſée pour un chemin à établir dans le lit d'une rivière, la largeur de ſon couronnement ſera égale à celle qu'on voudra donner au chemin; à cela près, tout le reſte ſera le même que dans le cas du n. 357.

Cas où la digue ſeroit oblique au courant. Fig. 28.

359. La même identité aura encore lieu en tout point avec les chauſſées perpendiculaires, & en ſe conformant à ce qui eſt dit au même n. 357, ſi par quelque raiſon que ce fût la digue

devoit être oblique à la direction du courant ; dans ce cas, on auroit seulement soin d'observer (232) que l'affouillement au pied de la digue seroit plus profond, & que pour cette raison (355) la quantité de matériaux de la berme RSTY (fig. 28) seroit plus considérable.

360. Lorsque la digue devra être construite sur un emplacement à sec, on creusera des fondations, autant que les eaux qu'on rencontrera à une certaine profondeur pourront le permettre pour l'établissement des dalles, tant des assises 1, 2, 3, 4 du péré, que de celles de la berme. Ce sera dans ces fondations qu'on placera les matériaux tant de l'un que de l'autre. Cas où la digue doit être construite hors de l'eau. Fig. 28.

Ainsi soient AB (fig. 30) la surface du gravier, CD la ligne à laquelle on rencontre les eaux qui filtrent à travers le gravier, EF la ligne jusqu'à laquelle on pourra creuser, GH la ligne des plus hautes eaux de la rivière dans les grandes crues, & KL celle à laquelle on devra porter le couronnement de la chaussée AMNP. On creusera d'abord l'espace PQFB en talutant PQ suivant la ligne PN, & ce sera à partir de la ligne QF qu'on exécutera tant le péré NQRS que la berme RFVT conformément à ce qui a été dit ci-dessus. Fig. 30.

Dans ce cas les déblais de la tranchée PQFB serviroient au remblai de la chaussée AMNP.

361. Lorsqu'on doit construire dans l'eau, il y a plus de difficultés. Cependant quoique ces difficultés entraînent plus de dépenses, il faut tâcher d'y apporter la plus grande économie. Cas où la digue doit être construite dans l'eau.

En examinant la chose de près, on verra que la question se réduit à préparer, au-dessus des eaux, une plate-forme sur laquelle on puisse établir les ouvrages & qui leur serve de base. Cette plate-forme ne peut être faite que par encombrement, & cet encombrement doit réunir la plus grande solidité à la plus grande économie.

Or ici il se présente divers cas, savoir : 1°. celui où la digue doit

être parallèle au courant; 2°. celui où elle doit le couper, soit obliquement soit perpendiculairement; &, dans l'un & l'autre cas, le courant peut avoir plus ou moins de rapidité. Or nous allons examiner tous ces cas, & tâcher d'allier, dans chacun, l'économie avec la solidité.

Construction d'une digue parallèle le long d'une berge. Fig. 31.

362. Supposons d'abord qu'il soit question de construire la digue dans l'eau, le long de la berge, & parallèlement au courant. Soient la rivière ABCD (fig. 31.) EGHF la coupe de son lit, EF la ligne de la surface des eaux, DC la berge à défendre par la digue à construire, & MNKL l'empattement de cette digue dans le lit du courant. Puisqu'il s'agit de mettre la berge DC à couvert, on suppose, par-là même, que le courant la corrode, & que, par conséquent (105 2°.), le lit y est plus bas, ainsi qu'on le voit dans la section EGHF. On fera donc glisser dans l'eau, le long de la berge CD, des dalles les unes devant les autres, & un peu inclinées sur l'espace MNKL, jusqu'à ce qu'elles paroissent à la superficie du courant. Ce sera alors sur cette plate-forme qu'on établira le reste des ouvrages, en observant de laisser en saillie la largeur PQ, nécessaire à la berme qu'on exhaussera convenablement. On voit dans la coupe le profil OPQRSTFH des travaux.

Dans ce cas, si le courant est rapide, on plantera une file de pieux sur LK, pour empêcher que l'eau n'entraîne & ne dérange les dalles pendant la construction, & l'on commencera les travaux en L en remontant vers D; mais si le courant n'est pas fort, on n'aura pas besoin de pieux, & l'on pourra indistinctement commencer les travaux en L ou en M, & les diriger en amont ou en aval à volonté.

Ainsi ce cas, comme l'on voit, est peu susceptible d'économie.

Simplification de cette construction.

363. Dans ce même cas, si la berge qu'on veut soustraire à la corrosion fait partie des crémens de la rivière, & que la digue à construire ait principalement pour objet d'arrêter

les

les progrès de cette corrosion, on peut opérer d'une manière plus régulière que celle que nous venons de prescrire. Pour cela, à la distance de quelques toises de DC & parallèlement à cette ligne, ou dans la direction qu'on voudroit donner à cette digue, on ouvriroit une tranchée dans les terres, & l'on construiroit la digue conformément à ce qui a été dit au n. 360.

Construction d'une digue oblique dans l'eau.

364. Supposons à présent que la digue à construire dans l'eau doive être oblique ou perpendiculaire au courant, pour obvier à la perte des matériaux par l'action des eaux, & en même tems pour économiser autant qu'il sera possible, on construira l'empattement de la digue & de la berme, & on formera la plate-forme au-dessus de la surface du courant, conformément à ce qui a été dit au n. 349.

Venons aux digues à *péré en blocaille.*

Cas où l'on emploie les digues à péré en blocaille.

365. Nous avons dit (4) que la mer ne s'étoit jamais élevée au-dessus de 230 toises par rapport à son niveau actuel; par conséquent, dans tous les pays supérieurs à cette hauteur, on ne trouvera pas des pierres d'appareil pour les employer comme dalles. Il y a aussi, au-dessous de cette hauteur, bien des endroits où l'on n'en trouve point. Dans tous ces cas, on emploie les pérés en blocailles, lorsqu'il se rencontre quelques montagnes à portée d'où l'on peut tirer des blocs.

Construction de ces digues.

L'emploi de ces blocs tant pour les pérés que pour les bermes est fondé sur le même principe que celui des dalles, c'est-à-dire qu'il faut que le parement de la chaussée & sa base soient constamment à couvert de l'action des eaux: d'où il suit que, dans la construction de ces sortes de digues, on doit:

1°. Employer double ou triple péré suivant les circonstances & la nature de la rivière sur laquelle on opère.

2°. Donner au péré le talus le plus rapide possible pour faciliter la descente des blocs lorsque la rivière affouillera.

3°. Faire en sorte que les blocs ne soient pas trop serrés les

uns contre les autres & qu'ils ne se gênent pas mutuellement dans leur descente.

Du reste les digues à péré de blocaille se construisent de la même manière que celles à péré de dalles. Ainsi nous ne nous étendrons pas davantage sur cet objet.

Digues à petit péré; cas où on les emploie; leur construction.

366. Lorsqu'on ne peut se procurer ni des dalles ni des blocs, on a recours aux digues à petit péré. Ces digues ont besoin d'une attention particulière; car il faut que le talus de la chaussée soit constamment couvert: & comme les pierres n'ont pas assez de masse pour résister par elles-mêmes à l'action du courant, il faut qu'elles se soutiennent mutuellement. D'où il suit qu'elles doivent former un pavé serré, de façon qu'elles ne puissent pas en être détachées par le courant; car on sent que leur force consiste dans l'union & l'assemblage, & que l'enlèvement d'une pierre entraîneroit nécessairement la ruine de l'ouvrage.

Par-là même que les pierres ne sont pas assez volumineuses, on ne peut pas, dans ce cas, les employer à la berme. Aussi cette partie de la digue ne peut guères alors être faite qu'en pilotage: pour cela, on plantera, tout le long du péré, au pied de la digue, un double rang de pilotis le moins espacés qu'il sera possible, & on en remplira l'entre-deux, soit de tunage, soit de pierres assez considérables pour ne pouvoir pas s'échapper entre les pilotis.

Ce genre de péré, étant le plus foible de tous, il ne seroit pas mal à propos de le doubler ou tripler suivant les circonstances; en quoi il faut se conformer à la nature du courant auquel on veut s'opposer. Dans ce cas, si, par quelque accident que ce soit, le premier péré venoit à être dégradé, il resteroit le second.

C'est encore d'après le principe, que les pierres sont peu volumineuses, que le glacis de la chaussée doit, dans ce péré, avoir le moins de rapidité ou le plus d'empattement possible.

Par-là, les pierres auront moins de tendance à descendre & se soutiendront beaucoup mieux.

367. Dans le cas de ces mêmes perés, on pourroit suppléer par l'art à ce qui manque au volume des pierres. Pour cela, il n'y auroit qu'à substituer au peré un mur en bâtisse, couché sur le glacis, & dont l'épaisseur seroit d'environ 18 pouces, plus ou moins, suivant les circonstances. Le parement visible de ce mur seroit en forme de pavé. On ne construiroit ce mur que par pans d'environ 6 ou 7 pieds de largeur & on sépareroit tous ces pans par un vuide de 2 ou 3 pouces. Ils seroient établis sur une couche de sable ou de gravier dont on couvriroit préalablement le talus de la chaussée qui, dans cette construction, devroit être assez rapide pour permettre à ces pans de descendre en cas d'affouillement.

Moyen simple de transformer les digues à petit peré en digues à peré en dalles.

On pourroit aussi employer plusieurs perés semblables, les uns sur les autres. Dans ce cas on auroit soin d'en séparer les assises par une couche de sable, ainsi que nous l'avons indiqué (352) pour les perés en dalles.

Nous devons observer que cette construction ne peut avoir lieu que pour les digues qu'on exécute à sec; car il est visible qu'il seroit impossible d'exécuter le peré dans l'eau.

Quant à la berme à employer, sa construction dérive du même principe. Après en avoir fixé les dimensions suivant ce que nous avons dit au n. 355, on creusera ses fondations & celles du peré conformément à ce qui a été dit au n. 360; mais on ne les portera que jusqu'à la surface CD (fig. 30) des eaux de filtration. A cette profondeur on construira la berme DXTV par couches & par pans en maçonnerie, ainsi qu'on aura déjà traité le peré NSXY.

ARTICLE III.

Des Digues à pierre sèche.

Digues à pierre sèche en dalles ou en blocaille.

368. Les digues dont nous parlons n'ont ni chaussée ni péré; elles sont entiérement en pierre, & comme ces pierres ne sont point liées entre elles par aucun mortier, on sent qu'elles doivent être composées des plus gros matériaux possibles; conséquemment elles ne peuvent être qu'en dalles ou pierres d'appareil, & en blocaille. Ce sont ces sortes de digues qu'on a presque toujours employées sur la Durance. Nous allons examiner successivement leur construction, leurs vices & leur réforme, en commençant par les digues à pierres d'appareil ou en dalles.

Construction des digues en dalles, usitée sur la Durance. Fig. 32.

369. Nous avons déjà parlé (350) de la forme & des dimensions des pierres. La manière dont on les emploie est représentée par la figure 32, dans laquelle ABCD est le plan de la base, & EFGH la coupe transversale prise sur la ligne quelconque KL : FG est le parement du côté de la rivière. On voit dans cette figure :

1°. Que les pierres sont employées sur leur lit par assises réglées;

2°. Que chaque assise est composée de trois parties AMQD; MNPQ & NBCP;

3°. Que les pierres des parties en parement sont employées par boutisses & que chaque pierre y fait parpin;

4°. Que dans la partie intermédiaire MNPQ qu'on appelle *la clef*, on ne sait pourquoi les pierres y sont employées par carreaux.

5°. Enfin que celles du parement du côté de la rivière ont une très-petite retraite à chaque assise; cette retraite, suivant l'usage, n'est guères que d'un pouce ou deux.

Quelquefois on ſupprime *la clef* MNPQ. Il y a même des cas où l'on n'emploie que la partie en parement BCPN. Mais la conſtruction la plus générale eſt telle que nous venons de la décrire.

Dans tous les cas, pour mettre la digue à couvert des affouillemens, on forme une berme au-devant du parement FG avec des pierres de même dimenſion que celles de l'ouvrage. Ces pierres ſont accumulées dans le courant au pied de la digue. Dans le pays, on leur donne le nom de *briſants*, parce qu'elles ſont deſtinées à briſer le choc des eaux.

370. Cette conſtruction paroît être vicieuſe ſous les rapports ſuivans. Vices de cette conſtruction. Fig. 32.

1°. En général elle abſorbe beaucoup trop de matériaux, & par-là, elle devient trop coûteuſe.

2°. La clef, qui par ſa dénomination, devroit lier les pierres des deux paremens, les iſole au contraire & les rend indépendantes les unes des autres.

3°. Il eſt rare que le volume des matériaux de la berme ſoit proportionné à la profondeur des affouillemens.

4°. Le parement FG n'a pas aſſez de retraite, d'où il réſulte qu'à la fuite des affouillemens, l'ouvrage s'écroule.

Cela eſt conſtaté par l'expérience. Il y a peu de digues de cette nature ſur la Durance qui n'aient été ruinées & reconſtruites.

371. Si l'objet de la digue exige abſolument que le corps de l'ouvrage ſoit entièrement en pierre, il ne faut jamais perdre de vue que les matériaux du parement doivent être diſpoſés de manière qu'ils puiſſent conſtamment s'accommoder à l'état de la rivière & mettre les travaux à couvert des affouillemens. Par conſéquent il eſt aiſé de voir, qu'en pareil cas, il faut adopter le profil repréſenté par la fig. 33; ABCD eſt le corps de la digue, BCGE en forme le péré en dalles & FHKL en eſt la berme. Ainſi cette conſtruction ſe rapporte aux digues à Réforme de cette conſtruction. Fig. 33.

pérés en dalles, dont nous avons parlé dans l'article II auquel nous renvoyons.

Simplification à y introduire. Fig. 33.

372. Puisque le corps ABCD de la digue doit être constamment mis à couvert par le péré BEGC, on voit, au premier abord, qu'il est inutile d'y employer des pierres d'appareil & qu'il suffira de le construire en moëllon ordinaire qu'on peut se procurer à bien moins de frais. Par ce moyen, les travaux seront considérablement simplifiés, & il en résultera une grande économie.

Venons aux digues en blocaille.

Description & défauts des digues en blocaille, usitées dans la ci-devant Provence.

373. Les digues en blocaille usitées sur la Durance & les autres rivières de la ci-devant Provence, ne sont autre chose qu'un simple mur, plus ou moins épais, construit sur le gravier, dont le parement a très-peu de retraite & dont la base est défendue par une berme.

Le vice général de ces digues consiste dans l'insuffisance du volume de la berme & dans celle de la retraite du parement; d'où il résulte que, lors des affouillemens, l'ouvrage s'écroule, & les matériaux, s'éboulant dans le courant, forment alors la véritable berme sur laquelle on est obligé de construire une seconde digue.

Réforme de cette construction. Fig. 33.

374. Pour réformer ce genre de digue, on doit encore adopter le profil de la fig. 33, en observant que, dans le cas dont il s'agit, il n'y a point de pierre d'appareil & que tout est en blocaille. Dans cette figure, le corps ABCD de la digue sera un mur dont le parement BC aura la retraite convenable aux pérés en blocaille. BEGC en sera le péré & FHKL la berme. Cette construction, se rapportant alors aux digues à péré en blocaille, on se conformera à ce que nous avons dit à ce sujet dans l'article précédent.

Simplification à y introduire. Fig. 33.

375. Dans cette construction, le corps ABCD de la digue étant toujours garanti par le péré, on pourra le simplifier ainsi que nous l'avons dit au n. 372.

ARTICLE IV.

Des Digues en maçonnerie.

376. Si les digues en maçonnerie ſont les plus ſolides, elles ſont auſſi les plus coûteuſes: car elles exigent impérieuſement d'être établies ſur le ferme; & comme il eſt aſſez rare de le rencontrer dans le lit des rivières dont nous parlons (154), il s'enſuit qu'il faut, le plus ſouvent, recourir au pilotage, moyen extrêmement diſpendieux. Ainſi ces ſortes de digues ne doivent être employées que dans les cas où la choſe eſt indiſpenſablement néceſſaire. Au ſurplus, comme ce ſujet a déjà été traité par divers auteurs, nous n'en dirons ici qu'un mot. *Cherté des digues en maçonnerie.*

377. Les digues en maçonnerie ſe diſtinguent par leur parement. Les unes ſont parementées en taille & les autres en moëllon. Dans ce dernier cas, le moëllon doit être piqué; ſans cette précaution, le parement ſeroit bientôt dégradé. *Conſtruction & dimenſions des digues en maçonnerie. Fig. 34.*

Le choix & le profil de ces deux ſortes de digues ſont ſubordonnés à la nature des rivières ſur leſquelles on doit les employer.

Si la rivière a beaucoup de rapidité, ſi les crues ſont longues ou fréquentes, ou ſi la digue doit être habituellement expoſée à l'action du courant, le parement doit être néceſſairement en taille.

Si, au contraire, la rivière a peu de vîteſſe, que les crues ſoient courtes ou rares, ou ſi la digue ne doit eſſayer l'action des eaux que momentanément, elle pourra n'être parementée qu'en moëllon piqué.

Quant au profil de l'une & de l'autre de ces digues, il doit avoir la figure d'un trapèze ABCD (fig. 34). Les dimenſions de ce trapèze varient ſuivant les circonſtances. On convient ſeulement que le parement BC, expoſé à l'action de l'eau, doit

avoir beaucoup moins de retraite que le parement postérieur AD pour empêcher que la digue ne soit renversée.

Les dimensions de CD & de AB ne peuvent pas être assignées généralement. On sent qu'elles doivent être d'autant plus grandes que l'action des eaux sera plus forte; or cette action dépend de la masse d'eau & de la pente de la rivière (170), ainsi que sa direction relativement à celle de la digue (327). Tout ce qu'on peut dire, c'est que si la digue n'éprouvoit aucun choc, & qu'elle n'essuyât que la force de pression comme un mur de réservoir, CD devroit alors être égale à la profondeur correspondante des eaux, & AB pourroit être $=0$, ainsi qu'on peut le déduire du n. 340, & comme l'expérience le confirme. Par conséquent c'est à l'ingénieur à consulter les localités & les circonstances, & à fixer le tout d'après ses connoissances & les données qu'il aura.

Du reste, on doit consulter ce que nous avons dit à ce sujet au n. 343 3°., auquel nous renvoyons.

ARTICLE V.

Des Digues en Gabions.

Description des gabions. Fig. 35.

378. Il y a des cas où les pierres manquent absolument pour la construction des digues; alors on se sert du gravier même de la rivière & l'on construit des digues avec des *gabions*. C'est ainsi qu'on appelle des cônes faits avec des lattes ou perches qui se réunissent en un point & qui sont assemblées entr'elles par une tresse d'osier ou de saule comme celles des paniers. On en voit la forme & la contexture dans la figure 35.

Construction des digues en gabions.

379. Lorsqu'on veut faire usage de ces sortes de digues, on place les gabions vuides, à côté les uns des autres, sur la ligne de la digue, la pointe vers le courant, & ensuite on les remplit de gravier. Si la rivière est forte, on en place deux, trois & même

même quatre rangs, les uns ſur les autres. La grandeur des gabions varie ſuivant les rivières. En général les grandes rivières exigent de plus grands gabions que les petites. On en ſent la raiſon.

Avantages & inconvéniens des digues en gabions.

380. L'avantage qu'on a dans les digues en gabions, c'eſt que les ouvrages ſont bientôt finis. Mais cet avantage eſt balancé par beaucoup d'inconvéniens. En effet:

1°. Lorſque la rivière affouille & que les gabions deſcendent, il arrive ſouvent qu'ils chavirent & ſe vuident.

2°. Il n'eſt pas rare que l'action du courant en créve la pointe, & alors ils ſe vuident par la rupture.

3°. Dans deux ou trois ans au plus, les lattes & les treſſes ſont pourries, &, par-là, la digue eſt détruite. D'où il réſulte qu'il faut, tous les deux ou trois ans, placer un nouveau rang de gabions ; ce qui devient à la fin fort coûteux.

Dans quel cas & pour quel objet on doit les employer.

381. De-là on doit conclure qu'il ne faut employer ce genre de digues que dans le cas où il s'agit d'arrêter les progrès des ravages d'une rivière, pour pouvoir enſuite ſe livrer à des travaux plus ſolides : dans ce même cas, on doit ſur-tout faire attention à deux choſes. La première eſt que la pointe des gabions ſoit aſſez bien conditionnée, par des liens, pour que le courant ne puiſſe pas l'endommager. La ſeconde, que les gabions ſoient placés de manière qu'ils ne puiſſent pas chavirer ni ſe vuider par leur entrée. Pour cela on les contiendra avec des pieux qu'on plantera de chaque côté. Nous pouvons ajouter qu'il ſeroit bien eſſentiel de leur donner une forme & des dimenſions à pouvoir les fermer.

ARTICLE VI.

Des Digues en encaissement.

Description des encaissemens. Fig. 36.

382. Lorsque le courant est si rapide que les digues précédentes deviennent insuffisantes pour le modifier, ou lorsque la pierre d'appareil, ou la blocaille est extrêmement éloignée, on emploie les digues par encaissement. Ces digues sont particulièrement usitées dans les pays des montagnes, à cause de la grande rapidité de leurs rivières. Dans le département des Basses-Alpes, elles sont connues sous le nom d'*arches*, dénomination tirée du mot latin *arca*, qui signifie un *coffre* ou un encaissement qui en a à-peu-près la forme.

Ces encaissemens ont la forme d'un parallélipipède rectangle, d'environ 15 ou 18 pieds de longueur, sur une toise de largeur & de hauteur, plus ou moins. Ils sont formés de madriers bruts assemblés, ainsi que le fait voir le parallélipipède BADCFE GH (fig. 36). On les construit sur la place avec du bois de pin ou de chêne. On les remplit, par la face ouverte ADEG, de pierres assez grosses pour ne pouvoir pas passer par les intervalles de la charpente : lorsqu'ils sont pleins, on ferme la face ADEG, afin qu'en chavirant ils ne puissent pas se vuider.

Leur solidité.

D'après cette construction, on sent que l'ensemble forme une masse si lourde, que le courant le plus violent ne sauroit l'entraîner. Tout ce qui arrive, c'est que l'encaissement étant affouillé, tombe dans le courant & s'enfonce jusqu'à un certain point dans le gravier (208); & comme ces bois ne se corrompent pas dans l'eau, il s'ensuit, qu'alors ces sortes d'ouvrages doivent être considérés comme des blocs de même volume & dont la masse est au-dessus de l'action des eaux : qu'on en établisse, bout-à-bout, un certain nombre, sur la ligne de la digue à construire, & l'on aura une digue à toute épreuve.

383. A défaut de bois de pin ou de chêne, on peut employer tout autre bois, même le peuplier qu'on rencontre par-tout le long des rivières. Dans ce cas, on doit bâtir les matériaux de rempliffage avec de bon mortier; l'encaiffement pourrira bientôt; mais avant qu'il foit tombé en corruption, la bâtiffe aura fait corps, & l'enfemble produira le même effet que l'encaiffement.

Moyen de généraliser l'ufage des digues par encaiffemens.

ARTICLE VII.

Des Digues en bois.

384. Les digues en bois les plus connues font : 1°. les tunages; 2°. les arbres de revêtement; 3°. les paliffades; 4°. les chevalets ou chevrettes. Nous ne parlerons pas ici des tunages dont l'ufage fe rapporte bien moins aux rivières qu'aux canaux de navigation; mais nous allons examiner les trois autres genres de réparations.

Diverfes fortes de digues en bois.

385. Lorfque la Durance, dans fes crues, corrode fes berges, les riverains font dans l'ufage de couper les arbres les plus branchus & les plus à portée, & de les jetter dans l'eau, la tête en en-bas, aux endroits où le courant agit avec le plus d'énergie. Si l'arbre eft au bord de l'eau, on ne le coupe qu'à demi, & on le laiffe tenir à la tige par une partie de fes fibres & de fon écorce. Si, au contraire, il en eft éloigné, on l'arrête avec une corde à un pieu qu'on enfonce profondément au bord de la rivière, vis-à-vis l'endroit où l'arbre doit être jetté dans l'eau. Il eft rare que cette méthode ne produife pas fon effet, & ne mette pas la berge à l'abri de la corrofion. Les branches forment des obftacles multipliés qui atténuent & divifent la force du courant. D'ailleurs elles arrêtent les brouffailles & toutes les matières que les eaux emportent avec elles. Enfin, elles finiffent le plus fouvent par arrêter le gravier lui-même.

Digues avec des arbres, ufitées fur la Durance.

386. Le ſeul inconvénient de ce genre de digue de revêtement eſt de ne pouvoir pas y employer ſouvent des arbres ſtériles ou du moins qui donnent peu de produit, tel que le ſaule, le peuplier, l'orme, &c., & d'être au contraire ordinairement obligé d'y ſacrifier des arbres précieux & d'un grand rapport, tels que le murier blanc ſur la Durance. Auſſi ſeroit-il bien eſſentiel d'établir la police la plus ſévère, relativement aux arbres qui croiſſent ſpontanément le long des rivières; peut-être même faudroit-il obliger le riverain inſouciant à faire des plantations.

Au reſte, on peut voir, par cet expoſé, que c'eſt ici un expédient que l'on n'eſt en uſage d'employer qu'à l'extrémité & le long des berges excluſivement. Cependant il eſt aiſé de ſentir qu'on pourroit auſſi l'employer très-utilement dans l'intérieur du lit, en le combinant avec des paliſſades; ce qui conſtitue la ſeconde eſpèce de digues en bois dont nous allons parler.

Digues en paliſſades avec des arbres aux paremens. Fig. 37.

387. Le principal objet de ces digues eſt de détruire une branche ſecondaire & de la forcer à rentrer dans la branche-mère. Dans ce cas, leur direction n'eſt point arbitraire, mais elle eſt déterminée par les localités, ainſi qu'on va s'en convaincre.

Soit la rivière ABCD (fig. 37) qui, au point G, ſe partage en deux branches BEFG & CGHK, dont la première eſt la branche-mère. Si l'on examine attentivement la diviſion des rivières, on verra qu'il y a une ligne GD ſur laquelle les eaux ſont pour ainſi dire incertaines de quel côté elles ſe dirigeront, & où elles ne ſe verſent dans la branche GCHK, que parce que la berge DG ſouffre en cet endroit une ſolution de continuité. Ce n'eſt donc pas l'impulſion du courant qui les y pouſſe; elles n'y ſont entraînées que par un déverſement ou épanchement latéral: car le courant eſt établi entre AB & GD. Donc, ſi l'on conſtruit des ouvrages deſtinés à barrer la branche GCKH, ils éprouveront moins d'action, de la part du courant ſur la

ligne DG, que toute autre direction. Par conséquent, c'est suivant la ligne DG qu'il faudra les diriger.

Comme DG est réellement la ligne qui divise les deux branches, nous l'appellerons *ligne de division.*

388. La ligne de division étant connue & jalonnée par des piquets, on procédera à la construction de la digue de la manière suivante.

On plantera, suivant la direction de cette ligne, trois ou quatre rangs de pieux, plus ou moins, suivant la nature de la rivière, d'où dépend aussi leur grosseur. Cinq rangs nous ont suffi sur la Durance. Ils seront espacés d'environ deux pieds de centre à centre. Pour les planter, à peu de frais, on fait les trous qui doivent les recevoir, avec un pieu armé d'un sabot de fer.

Les pieux plantés, on en remplit les entre-deux de fascinages, qu'on charge de pierres & qu'on arrête par intervalles avec des pièces transversales. On a pareillement soin de garantir les deux paremens avec des branches d'arbres dont les tiges soient engagées dans le corps de la digue. Le pin est un des arbres les plus propres à cet objet, soit pour les branches de parement, soit pour les pieux; étant toujours ramé, ses branches détruisent plus efficacement l'action du courant, soit qu'elle s'exerce sur le parement antérieur, soit qu'elle ait lieu par la chûte sur le parement postérieur, lorsque, dans les grandes crues, la digue sera franchie.

L'expérience nous a appris qu'on pouvoit employer efficacement ce moyen sur la Durance dont on connoît la rapidité; &, d'après cela, nous pouvons en garantir le succès sur toute autre rivière.

389. Lorsque la rivière est peu considérable, on peut beaucoup simplifier ces sortes de digues en palissades, en employant des tresses ou clayonnages. Dans ce cas, il suffit de deux rangs de pieux, laissant entr'eux un intervalle d'environ 3 pieds.

Digues en clayonnages.

Ces deux rangs feront treffés en ofier ; & l'entre-deux fera rempli de gravier. Mais il fera toujours très-prudent d'en garantir les paremens avec des branchages employés ainfi que nous venons de le dire.

Digues en *chevrettes* ou *chevalets*.

390. Suppofons un arbre dont la tige fe divife, au moins, en trois branches, & qu'on coupe cette tige & les branches à environ quatre ou cinq pieds du point de divifion; on aura un folide fourchu, qu'on nomme *chevalet*, dans le département du Midi, & dans d'autres, *chevrette*. Suppofons encore que ce folide foit le plus volumineux poffible & d'une pefanteur fpécifique fenfiblement plus forte que celle de l'eau. S'il eft jetté dans le courant, il defcendra au fond, & l'irrégularité de fa forme l'empêchera d'être entraîné. Bien plus, cette même irrégularité accrochera & arrêtera les brouffailles, les arbuftes & tout ce que la partie correfpondante du courant entraînera. Enfin, lorfqu'il fera furmonté par les eaux, il occafionnera des affouillemens dans lefquelles il s'enfoncera de manière à ne pouvoir plus être déplacé (208).

L'on voit par-là qu'une digue formée en *chevalets* ou *chevrettes*, réunit de très-grands avantages; elle ne peut être ni renverfée ni entraînée; les affouillemens l'enracinent & la fortifient; elle peut, à volonté, changer la direction du courant ou produire des atterriffemens fuivant fa difpofition.

On emploie ces fortes d'ouvrages fur les rivières les plus rapides, telles que la Durance, la Haute-Loire, &c.; il eft malheureux qu'on n'en puiffe pas faire un ufage plus fréquent. Deux obftacles s'y oppofent: 1°. Il y a peu d'arbres de groffeur dont le bois foit fpécifiquement plus pefant que l'eau. 2°. Parmi ces arbres, on en trouve peu qui aient la forme requife pour *chevrettes*. Ajoutons à cela que cette forme donne ordinairement les pièces courbes qui entrent dans la conftruction navale, & qu'il eft effentiel de ne pas prodiguer, fur les rivières, des

pièces qui, eu égard à la rareté des bois relatifs à cet objet, peuvent être infiniment utiles à l'état.

391. Si nous faisions une chevrette en charpente, celle par exemple qui est désignée par la fig. 38, représentant deux tétraëdres opposés au sommet, & que nous y employassions la même qualité de bois que pour les chevrettes naturelles, il est visible qu'elle produiroit le même effet. Bien plus, en lui donnant plus de branches que n'en a ordinairement la chevrette naturelle, l'effet n'en seroit que plus grand & plus assuré. Dans ce cas, il suffira d'avoir des pièces droites de grosseur, & de les assembler convenablement, en les employant sans aucun apprêt & telles qu'elles viennent de la forêt. Il n'en coûteroit de plus que la main-d'œuvre qui seroit amplement compensée par la moins value des bois & par la facilité des transports. Nous n'avons pas expérimenté ce moyen, mais nous pensons que rien ne s'oppose à sa réussite.

Comment on pourroit construire des chevalets factices. Fig. 38.

392. Allons plus loin. Construisons ces chevrettes artificielles, avec des bois spécifiquement plus légers que l'eau; mais au centre, pratiquons en planches des cellules que nous remplirons de gravier, & que nous fermerons ensuite, lorsque le systême sera devenu spécifiquement plus pesant : ces planches seront en outre utiles pour consolider l'assemblage. On sent, au premier abord, qu'une pareille chevrette ne sera pas plus entraînée que les précédentes, & qu'elle produira encore le même effet : or, dans ce cas, on peut employer toute sorte de bois, & sur-tout le pin, qui a l'avantage de ne pas se corrompre dans l'eau, & qui est ordinairement fort commun le long des rivières dont la pente est considérable.

Simplification dans les constructions des chevalets factices.

ARTICLE VIII.

Des Levées ou Turcies.

Cas où l'on emploie les levées.

393. Si une rivière a été réduite, & que les propriétaires riverains se soient avantagés aux dépens de son lit, il arrive souvent que, dans ses crues, elle franchit les bords qu'on lui a assignés, & qu'elle inonde le plat-pays : alors, pour la contenir & l'empêcher de s'extravaser, on construit, du côté où elle peut se répandre, des chaussées, qu'on appelle aussi *levées* ou *turcies*. Ainsi, l'objet des levées est d'empêcher les inondations dans le tems des crues.

Qualités requises dans les levées.

394. D'après cela, les propriétés des levées, pour remplir cet objet, sont :

1°. D'avoir l'épaisseur nécessaire pour résister à la poussée des eaux;

2°. D'être supérieures aux plus hautes eaux de la rivière.

3°. Que le glacis, du côté de l'eau, ne puisse pas être dégradé.

4°. Enfin qu'il n'y ait aucune filtration.

Couronnement & talus des levées.

395. L'épaisseur de la digue au couronnement peut se réduire à rien (340), puisqu'elle n'essuie que la pression des eaux qui, dans cette partie, est nulle. Cependant on est dans l'usage de donner au moins 3 pieds de largeur au couronnement & même davantage lorsque les rivières sont considérables. Quant à l'épaisseur de la base, elle dépend du talus. Celui de 45 degrés seroit suffisant. Nous avons vu bien des endroits où il n'excède pas ce terme. Cependant on ne peut pas disconvenir que, plus il sera grand, moins il sera sujet à se dégrader. Ainsi nous croyons que le talus des levées devroit être au moins d'un & demi sur un de hauteur.

396.

396. Le couronnement des levées doit être aſſez élevé pour n'être pas franchi par les eaux: car un ſimple filet qui s'extravaſeroit, auroit bientôt creuſé, ſur la derniere, un profond ravin qui en entraîneroit la rupture (106). En cela il ne faut pas être minutieux, & il vaut mieux pécher par excès que par défaut, ſur-tout lorſque les rivières ſont conſidérables; d'autant mieux que, d'une part, les levées ſe taſſent toujours, & que de l'autre, des circonſtances particulières peuvent conſidérablement enfler les eaux. C'eſt ce qui arriva au Rhône en 1755. Ce fleuve éprouva à cette époque une crue très-forte; dans le même-tems, le vent du midi ſouffla avec violence, &, retardant la vîteſſe des eaux, il en enfla tellement le volume que toutes les levées d'Arles & de Taraſcon furent franchies. Hauteur des levées.

397. Les glacis, du côté des eaux, pour n'être pas dégradés dans les crues, ont beſoin d'être fortifiés par un péré. On ſent bien qu'il ne faut ni un péré en dalles, ni un péré en blocaille, & qu'un petit péré ſuffit, à moins que le lit ne ſoit exceſſivement rétréci; auquel cas la levée ne mériteroit plus ce nom, mais plutôt celui de digue. Péré des levées.

Le moyen de mettre le péré lui-même à l'abri de l'action des eaux dépend de la ſituation de la levée. Si elle eſt au bord même de la rivière, nous avons vu (366) qu'on ne pouvoit garantir & ſoutenir le péré que par un pilotage. Si au contraire elle en eſt à une certaine diſtance, il ſuffira d'établir la baſe de ce péré à 2 ou 3 pieds de profondeur de fondation.

398. Dans le cas où les levées ne ſont pas au bord de l'eau, comme dans pluſieurs endroits, ſur le Rhône, à Arles & à Taraſcon, on peut forcer la rivière à les fortifier par des dépôts. Soient la rivière ABCD (fig. 39) & la levée EF. Conſtruiſons, par intervalles & perpendiculairement à la direction du courant, les épis triangulaires HKG, LMN, PQR. Ces épis ſeront en terre & pavés. SVT en eſt la coupe longitudinale ſur la ligne EG & X'YZ' en eſt la coupe tranſverſale ſur la ligne XZ. La diſtance KL ou MP d'un Moyen de forcer les rivières à fortifier les levées.

épi à l'autre pourra être au moins de 400 toifes, lorfque la pente de la rivière fera d'environ 4 pouces fur 100 toifes. Or il eft vifible, d'après cela, que les eaux, dans le tems des crues, feront mortes & ftagnantes dans l'intervalle des épis, & que, par conféquent, elles y dépoferont jufqu'à ce que le glacis foit parvenu à la hauteur des crêtes des épis.

399. Si la levée éprouvoit des filtrations, elle feroit perdue; car les eaux filtrées, en tombant le long du talus poftérieur, ne manqueroient pas de le dégrader (106). D'où il fuit que la levée ne peut être qu'en terre bien battue.

Moyen d'empêcher le percement des levées de la part des taupes, &c.

400. Il n'arrive que trop fouvent que les rats, les taupes, &c. percent une levée, & produifent, ce qu'en certains endroits, on appelle *des renards*. Ces événemens font d'autant plus dangereux qu'on ne peut pas y remédier. Car, s'il furvient une crue, les eaux s'ouvrent un paffage, par ce renard, qui ne peut être bouché qu'intérieurement. Or c'eft ce qui eft alors impoffible.

On ne peut obvier à cet inconvénient que lors de la conftruction. Pour cela il feroit à propos de pratiquer, au noyau de la levée, & dans toute fa longueur & fa hauteur, une cloifon en briques placées de champ les unes fur les autres; avec cette précaution, on n'auroit plus à craindre que la levée fût percée d'un talus à l'autre, puifque l'animal, arrivé à la cloifon, fe trouveroit arrêté par un corps incorrofible.

ARTICLE IX.

Réfumé général des Digues précédentes.

401. De tout ce que nous avons dit dans les huit articles précédens, on doit déduire les conféquences fuivantes.

Ufage des digues perpendiculaires.

402. Les digues perpendiculaires à la direction du courant & deftinées à exhauffer le lit de la rivière, par des encombremens en limon, qui non-feulement fortifient les ouvrages, mais encore, puiffent fous le moins de tems poffible, être rendus à

l'agriculture ; ces digues, disons-nous, doivent être construites en terre ou gravier, ainsi qu'il a été dit (344 & 349). Illes doivent particulièrement être employées sur les rivières qui ont un lit trop large & qu'on veut réduire à sa juste étendue. Mais elles ont essentiellement besoin d'une autre digue solidement construite à leur about, du côté de la rivière, dans une direction qui leur soit perpendiculaire ou parallèle à celle du courant, & dont la partie d'amont soit beaucoup plus longue que celle d'aval (329 & 338). C'est cette dernière digue que nous nommons *éperon*.

403. Les digues à pérés, soit en dalles, soit en blocaille, peuvent être employées suivant toutes les directions possibles, parallèles, obliques & perpendiculaires à celle du courant. Mais leur véritable destination est pour les deux premières directions, puisque la perpendiculaire est particulièrement affectée aux digues en terre ou gravier, ainsi que nous venons de le dire. Etant sujettes aux affouillemens, elles ont essentiellement besoin d'être défendues par des bermes ; & ces digues ainsi que les bermes, doivent être construites comme il a été dit aux n. 351 & 365 respectivement. Ces digues sont particulièrement destinées aux éperons qui doivent défendre les digues perpendiculaires en terre ou gravier. Elles peuvent aussi être très-utilement employées à la construction des chemins le long des rivières, ainsi qu'il a été dit (358). On peut pareillement s'en servir avantageusement pour prolonger, dans les ponts, les murs en aîles. Usage des digues à pérés.

404. Les digues à petits péres ne peuvent guères, faute de bermes, être employées qu'à des levées ou turcies. Si néanmoins on faisoit le péré en bâtisse, ainsi qu'il a été dit (367), on pourroit aussi les employer pour éperons aux abouts du côté de la rivière dans les digues en terre ou gravier, perpendiculaires au courant.

405. Les digues à pierres sèches, soit en pierre d'échantillon, Usage des digues à pierres sèches.

ſoit en blocaille, ne peuvent être ſolidement conſtruites que d'après la réforme preſcrite aux n. 371, 372, 374 & 375 reſpectivement. Elles ſont plus coûteuſes que les digues à pérés en dalles ou en blocailles qui, pour cette raiſon, doivent leur être préférées. Cependant, on pourra les employer utilement lorſqu'il s'agira d'établir la priſe d'eau d'un canal auquel les eaux ne puiſſent pas manquer, & qui ne ſoit pas expoſé, pendant les crues, à être encombré par les graviers : nous en avons déjà dit un mot au n. 321.

Uſage des digues en maçonnerie.

406. Les digues en maçonnerie & parementées, ſoit en pierres de taille, ſoit en moëllons, préſentent beaucoup de frais, ſans aucun avantage, ſur les digues précédentes. Auſſi ne doit-on les employer que lorſque les circonſtances & les localités l'exigent impérieuſement.

Uſage des digues en gabions.

407. Les digues en gabions ne peuvent être regardées que comme un ouvrage éphémère. Quoique peu coûteuſes, lors de la conſtruction, elles le deviennent beaucoup à la ſuite des tems, par les réparations continuelles qu'elles entraînent après elles. Elles ne peuvent ſervir que pour arrêter momentanément les ravages du courant, & pour donner le tems de faire des ouvrages plus durables. Du reſte on pourra les conſtruire conformément à ce qui a été dit (379 & 381).

Uſage des digues par encaiſſemens.

408. Après les digues en maçonnerie, parementées en pierres de taille, il n'y a pas d'ouvrage qu'on puiſſe établir plus ſolidement ſur les rivières, que les digues par encaiſſemens. Soit que les encaiſſemens ſoient à pierres sèches, ſoit qu'ils ſoient maçonnés, ces digues ſeront toujours moins coûteuſes que celles parementées en pierres de taille; auſſi leur deſtination naturelle eſt d'être placée ſur les courans qui ont beaucoup de rapidité, tels que les torrens-rivières & même les torrens proprement dits. Leur direction peut être telle qu'on voudra & que les circonſtances exigeront. On pourra, dans tous les cas, être aſſuré du ſuccès, en ſe conformant à ce que nous avons dit aux n. 382 & 383.

409. Les revêtemens des berges avec des branches d'arbres produisent presque toujours leur effet, qui est d'arrêter les corrosions du courant sur ces berges. Ainsi, dans un cas d'urgence, il est très-prudent d'y avoir recours (385). Usage des digues avec arbres.

410. Les digues composées de palissades & de branches d'arbres ont un avantage plus étendu. On peut les employer avec succès dans le lit des rivières, & sur-tout pour détruire leurs divisions en plusieurs branches. On ne pourroit guères s'en servir pour éperons, à cause des affouillemens. On pourra les employer sur les grandes rivières, quelque soit d'ailleurs leur rapidité, en ayant égard à ce que nous avons dit à ce sujet (387 & 388). Usage des digues avec arbres & palissades.

411. L'usage des palissades tressées ou en clayonnages est le même que celui des précédentes. La seule différence qu'il y a, c'est que celles dont nous parlons ne peuvent être employées que sur de petites rivières, ainsi qu'il a été dit (389). Usage des digues en clayonnage.

412. Les digues à chevalets ou à chevrettes sont des meilleurs ouvrages qu'on puisse employer sur les rivières, pour en modifier le courant, y produire des atterrissemens, &c. Ainsi nous ne saurions trop en recommander l'usage; sur-tout, qu'on essaye de construire des chevalets factices, même avec du bois plus léger que l'eau, conformément à ce que nous avons dit (391 & 392). Il en résulteroit, dans une infinité de cas, la plus grande économie & les plus grands avantages. Usage des digues en chevrettes ou à chevalets.

413. Les levées ou turcies ne peuvent aucunement être employées dans le lit des rivières, mais seulement aux bords, pour en contenir les eaux pendant les crues. Du reste, nous avons exposé (395 & 400) les précautions qu'il y avoit à prendre pour les soustraire à tout accident. Usage des levées ou turcies.

Après avoir détaillé les divers moyens qu'on peut employer pour modifier ou détruire l'action des courans d'eau, il nous reste à voir la manière de s'en servir pour réduire le lit des rivières.

CHAPITRE II.

De la réduction des Rivières & des Torrens-Rivières.

§. I.

De la réduction des Rivières à fond de gravier, & des Torrens-Rivières.

A quel problême se rapporte la réduction du lit des rivières à fond de gravier.

414. LA réduction du lit des rivières à fond de gravier dépend de la solution de ce problême : *Faire en sorte que le courant n'ait que la largeur nécessaire à l'écoulement de ses eaux, dans le tems des plus fortes crues, & qu'il soit obligé de creuser & d'approfondir son lit, en exhaussant les côtés par des dépôts, non de gravier, mais de limon, qui puissent être rendus à l'agriculture sous le moins de tems possible ; employer, à cet effet, les travaux les plus simples & les plus économiques, & les disposer de manière que le courant, loin de les dégrader, les fortifie, au contraire, par des atterrissemens.*

Nous allons résoudre ce problême par les principes que nous avons établis dans ce qui précède ; mais auparavant nous poserons les suivans :

Principes fondamentaux pour la réduction du lit de ces rivières.

415. 1°. *Le lit d'une rivière doit être en ligne droite sur le plus long espace possible.* La chose est évidente, & elle est une suite naturelle des principes établis au n. 105. 1°.

2°. *Il doit, par conséquent, avoir le moins de sinuosités possibles, & ces sinuosités doivent être les plus ouvertes possibles.* Ce n'est encore-là qu'une suite du principe du n. 105. 1°.

416. Supposons à présent qu'il s'agisse de réduire une rivière qui serpente dans l'espace du lit majeur ABCDEFGHIKLMN (fig. 40).

Manière d'opérer cette réduction. Fig. 40.

1°. On déterminera d'abord (221), par l'observation des eaux des plus fortes crues, la largeur à donner au lit réduit.

2°. Par la même observation, on déterminera aussi la plus grande profondeur des eaux de la rivière dans le courant réduit, &, par-là, la hauteur des digues à construire (344).

3°. On fixera aussi l'intervalle à mettre entre deux rétrécissemens consécutifs, intervalle qu'on déduira des observations mentionnées au n. 212, en observant que la corrosion, en amont d'un rétrécissement, s'étend d'autant plus loin que la rivière a moins de pente (210), & faisant de plus attention qu'il est plus prudent de rapprocher les rétrécissemens que de les trop éloigner.

4°. Ces préalables fixés, on tracera, dans le lit majeur, un polygone OPQRSTVX tel que, passant par les points O & X, ses côtés soient les plus longs & ses angles les plus obtus possibles. Le pourtour de ce polygone sera la *directrice* ou l'axe du courant réduit.

5°. On construira deux autres polygones semblables, l'un inscrit, l'autre circonscrit, dont les côtés soient éloignés de ceux du polygone primitif, de la moitié de la largeur à donner au courant réduit. Ce sera sur ces côtés qu'on établira les digues de rétrécissement.

6°. On construira les digues de rétrécissement 1,1; 2,2; 3,3; &c. égales & correspondantes de chaque côté de la directrice & aux distances déterminées (3°.); elles seront à péré de dalles ou de blocailles, ou à petits pérés maçonnés; &, dans leur construction, on se conformera à ce qui a été dit, à leur sujet, dans l'article II du §. précédent. Ces digues serviront en même-tems d'éperon, & on leur donnera la longueur relative à la na-

ture de la rivière, longueur dont nous avons parlé plus haut (336 & 338).

7°. Enfin, derrière ces éperons & perpendiculairement à la directrice, on construira les digues 4, 4; 5, 5; 6, 6; &c. en terre ou gravier, conformément à ce qui a été dit dans l'article I du §. précédent.

Nous disons que cette manière d'opérer donnera la solution du problême du n. 414. En effet:

1°. Le courant n'aura que la largeur nécessaire au passage des eaux des plus fortes crues. (221).

2°. Il sera obligé de creuser & d'approfondir son lit (210, 212, 219 & 220).

3°. Il exhaussera en même-tems les côtés par des dépôts (323 & 326).

4°. Ces dépots ne seront pas en gravier, mais en limon qui, sous peu de tems, pourra être rendu à l'agriculture (325 & 326).

5°. Les travaux que nous avons employés sont les plus simples & conséquemment les plus économiques. Car, outre qu'ils ne sont pas continus (320), mais seulement par intervalles, ils ne sont qu'en terre & gravier, & n'ont de la pierre qu'aux pérés (article I & II du §. précédent).

6°. Enfin le courant est obligé de les fortifier par des atterrissemens (323 & 326).

Donc c'est cette manière de procéder qu'il faut adopter pour la réduction du lit des rivières à fond de gravier.

Nous allons à présent entrer dans quelques détails qui se rapportent à ce systême de réduction.

Les digues des angles doivent être brisées.

Fig. 40.

417. Prolongeons la partie OP de la directrice jusqu'en X. Comme, en cet endroit, il y a une sinuosité, la digue perpendiculaire correspondante ne pourra pas former une seule ligne droite, mais seulement une ligne brisée 7, 8, dont la première partie sera perpendiculaire à OPX & la seconde à PQ. On traitera

traitera de la même manière les digues perpendiculaires aux autres ſinuoſités.

Levées de précaution à conſtruire dans certains cas.

418. Si les terreins adjacens ont été gagnés ſur le lit de la rivière & qu'ils ne ſe ſoient formés que des dépôts, il arrivera ſouvent, qu'au commencement de la réduction, les eaux, dans le tems des crues, s'élèveront au-deſſus du niveau de ces terreins. Dans ce cas, pour empêcher qu'elles ne s'extravaſent, en attendant que le courant ait creuſé ſon lit, on les contiendra par des levées dont le couronnement aura environ 3 pieds de largeur & ſera de niveau avec celui des digues perpendiculaires. Quant à leur parement, il ſuffira qu'il ſoit gazonné: car, les eaux devant y être ſtagnantes (324), il eſt viſible que ces levées n'éprouveront aucune action & n'auront conſéquemment pas beſoin d'être fortifiées comme celles dont nous avons parlé à l'article VIII du §. précédent.

Le courant ne déviera pas entre deux rétréciſſemens conſécutifs.
Fig. 40.

419. *Le courant, ainſi réduit, doit néceſſairement ſuivre la directrice, ſans s'écarter ni à droite ni à gauche entre deux rétréciſſemens conſécutifs.* Car 1°. les éperons 1, 1, le dirigeront vers le rétréciſſement des éperons 2, 2; &, par le principe du n. 105. 1°. Il doit ſe porter ſur cette direction. 2°. Cette route eſt plus courte que toute autre qui s'écarteroit d'un côté ou de l'autre de la directrice. Donc la pente y ſera plus forte, &, par le principe du n. 105 2°. le courant doit s'y diriger.

Le courant ne ſe diviſera pas entre deux rétréciſſemens conſécutifs.

420. *Le courant ne doit pas ſe diviſer entre deux rétréciſſemens conſécutifs.* Car, d'une part, les côtés s'exhauſſent par des dépôts, &, de l'autre, le milieu s'abaiſſe par la corroſion. Or (105. 3°.) les eaux tendent toujours vers les endroits les plus bas.

Le courant décrira des courbes aux ſinuoſités.

421. *Le courant changera de direction aux angles de la directrice en décrivant des lignes courbes.* La choſe a été démontrée au n. 229.

Le courant creuſera ſon lit par-tout où il aura été rétréci.

422. *Le courant creuſera ſon lit ſur toute la partie de ſon cours où l'on aura conſtruit des rétréciſſemens.* Cela a été démontré aux

n. 219 & 220. Il n'y auroit que le cas où le fond feroit incorrofible en quelque endroit où le lit feroit coupé par une barre tranfverfale de rocher. Alors il n'y auroit qu'à atténuer cette barre par l'action de la poudre, & laiffer au courant le foin d'en entraîner les débris. Mais, en général, c'eft ce qu'on a peu à craindre dans les rivières dont nous parlons, ainfi qu'on peut s'en convaincre par l'expérience & par ce que nous avons dit au n. 154.

Moyen d'accélérer les atterriffemens.

423. Nous avons dit (339) que les atterriffemens latéraux formeront des glacis dont la pente fera dirigée vers le courant: à mefure qu'ils commenceront à fe former, il fera très-prudent d'en complanter, d'arbres aquatiques, la partie baffe; par-là, on les accélérera, &, dans le tems, ces mêmes arbres ferviront de rempart aux domaines qui réfulteront de ces atterriffemens.

Cas où il y a des montagnes d'un côté du lit de la rivière.

424. Lorfque la rivière fe trouve bornée, d'un côté, par des montagnes, quoiqu'elles ne fe dirigent pas en ligne droite, il eft à propos de s'en fervir comme de digues naturelles & de fixer le courant à leur pied. Dans ce cas la réduction en deviendra plus fimple, puifqu'il fuffira de faire des ouvrages d'un feul côté.

Cette méthode s'applique auffi aux lits finueux.

425. Cette méthode s'applique auffi aux rivières dont on veut abaiffer le lit fans le redreffer; car la propriété des rétréciffemens, de forcer le courant à corroder le fond, eft indépendante de fa direction.

Comment on doit opérer lorfque la rivière fe partage en diverfes branches. Fig. 41.

426. Soit A'B' (fig. 41.) la directrice de réduction du lit majeur LMPN d'une rivière ABCD qui fe partage en deux branches au point E. Pour pouvoir travailler fans obftacle, par le moyen des chevalets (390 & 392), ou d'une digue en paliffade telle que celle du n. 388, fi la rivière eft volumineufe, ou telle que celle du n. 389, fi elle n'eft pas confidérable, on jettera la branche CEFG dans la branche BEKH, & l'on conf-

truira à sec la digue ST & l'éperon QR : on pourra même, suivant les circonstances, construire aussi l'éperon VX & partie de la digue YZ, jusqu'à la rencontre de la branche BEKH. Cela fait, on détruira la digue, & avec les mêmes matériaux on fermera la branche BEKH, pour la jetter dans le lit CEFG : alors les eaux deviendront stagnantes sur la partie NTSQ ; le courant s'établira dans l'étranglement QRXV, & l'on finira la digue YZ à sec.

427. Faut-il commencer la réduction du lit en aval ou en amont? Si on commence en aval & qu'on pousse les ouvrages en remontant, la corrosion s'étendant plus loin en amont du rétrécissement qu'en aval (211), si la rivière serpente supérieurement, & qu'il faille en changer le lit, d'après ce que nous venons de dire au n. précédent, l'opération en deviendra plus difficile par la profondeur de la corrosion qui y aura déjà eu lieu. Cette difficulté, au contraire, ne se rencontreroit pas si l'on commençoit les travaux en amont, & qu'on les continuât en descendant, à cause que la corrosion s'étendant moins loin en aval, le déplacement, soit de la rivière entière, soit de quelque branche séparée, en deviendroit plus aisé. Ainsi, pour la réduction des rivières dont nous parlons, les travaux doivent être commencés en amont & continués en descendant.

Dans ces rivières, les rétrécissemens doivent commencer en amont.

Nous verrons que ce doit être le contraire dans les rivières qui ne charient que du sable & du limon.

428. Il est visible que cette théorie s'applique aussi à la réduction du lit des torrens-rivières, sur-tout lorsqu'ils approchent de la nature de la rivière proprement dite ; car alors les rétrécissemens l'obligeront à creuser son lit sur toute la partie de son cours où l'on en aura construit.

Application de cette méthode aux torrens-rivières.

429. Ce genre de réduction peut beaucoup favoriser la construction des chemins dans les pays de montagnes. On sait que, dans ces pays, on ne peut guères établir des chemins de

Utilité de cette méthode pour la construction des chemins dans les pays de montagnes.

roulage que dans le lit des rivières : par notre systême, on produiroit le double avantage de gagner un terrein précieux, & d'établir des routes sûres & d'une pente extrêmement douce.

§. II.

De la réduction des Rivières à fond de sable & de limon.

La réduction des rivières à fond de sable & de limon, doit être renvoyée à la navigation.

430. Nous avons déjà remarqué (246) que dans les rivières à fond de sable & de limon, il n'y avoit point de différence entre le lit majeur & le lit mineur : par conséquent, ce n'est pas pour gagner du terrein qu'on entreprend d'en réduire le lit, mais seulement pour donner une plus grande profondeur d'eau à la rivière, & y faciliter la navigation. Il seroit donc inutile de traiter ici ce sujet, qu'il paroît plus à propos de renvoyer à la troisième partie, dans laquelle nous parlerons de la navigation des rivières.

SECTION III.

Usage des principes précédens dans la construction des Ponts sur les Rivières à fond de gravier.

431. NOTRE objet n'est pas de donner ici un traité *ex-professo* sur la construction des ponts : cette tâche glorieuse est reservée aux ingénieurs des ponts & chaussées, qui ont illustré la France par divers chefs-d'œuvres en ce genre, dont les anciens, ni les modernes n'ont pas même approché. Quant à nous, il nous suffira d'indiquer, d'après les principes que nous avons établis, les moyens d'économie dont cette partie essentielle des

travaux publics est susceptible sur les torrens-rivières & sur les rivières à fond de gravier.

Applications des principes précédens à la construction des ponts sur les rivières à fond de gravier. Fig. 42.

432. Soit ABCD (fig. 42) le lit majeur d'une rivière EFGH sur laquelle il faut construire un pont KL, dont on a déterminé la somme des ouvertures & le nombre d'arches, d'après ce que nous avons dit supérieurement (221). Nous supposerons que cette détermination donne trois arches : si la rivière est considérable, comme par exemple la Durance, l'Isère, &c.; sur la directrice MN choisissons la ligne PQ, telle qu'en cet endroit le lit mineur soit établi du côté d'une des berges AB, & qu'il laisse de l'autre côté une largeur RQ assez étendue pour qu'on y puisse construire à sec les piles, les culées, les arches, & généralement tous les ouvrages d'art relatifs au pont. Si, au contraire, la rivière est peu considérable, on pourra toujours, par quelqu'un des moyens prescrits à l'article VII du §. II, la réduire à ce point; on le pourra même par des chevalets, sur les rivières telles que la Durance, &c. Alors on construira le pont KL, les ailes ST & VX, la chaussée d'avenue LQ, & la partie KR de la chaussée correspondante KP, jusqu'à la rencontre de la rivière EFGH. Cela fait, on changera le lit de la rivière par le moyen de chevalets (390 & 392) si elle est considérable, ou par le moyen des digues en palissades (388 & 389), & on portera le courant vers la berge DC, pour finir la chaussée d'avenue KP.

Dans cette construction, la longueur des digues en ailes ST, VX sera déterminée d'après ce que nous avons dit aux n. 336 & 338, & la hauteur des chaussées d'après le n. 344, & d'après la montée du pont.

Il est visible qu'une pareille construction simplifiera beaucoup les travaux, ainsi qu'on peut s'en convaincre par les observations suivantes.

1°. Tous les ouvrages seront construits à sec, ainsi que nous l'avons dit. Conséquemment on évitera tous les batar-

deaux dont on est obligé de se servir quand on construit dans l'eau.

2°. Les chaussées d'avenue serviront elles-mêmes de digues perpendiculaires (324 & 333), & les digues ou murs en ailes en seront les éperons (329). Or, si l'on n'adoptoit pas ce systême, on seroit obligé de construire, dans tous les cas, les chaussées d'avenue & de donner aux digues en ailes une longueur assez considérable pour s'attacher obliquement aux berges AB & CD; ce qui seroit beaucoup plus coûteux.

3°. Si les digues en ailes ST & VX étoient obliques à la direction du courant, elles le porteroient souvent sur les bajoyers des piles & des culées: au lieu qu'étant parallèles, elles ne produiront pas cet effet.

Ainsi, par cette construction, qui se rapporte en tout point à notre systême de réduction de lit de rivière à fond de gravier, on réunira trois grands avantages. 1°. On n'exécutera que le moins d'ouvrage possibles; 2°. on les exécutera de la manière la plus économique; 3°. on pourra construire des ponts à plusieurs arches avec plus de facilité aux endroits les plus larges qu'aux endroits les plus étroits.

Simplification du prolongement des murs en ailes en amont.

433. Les digues en ailes servant de suite & de prolongement aux murs en ailes du côté d'amont, pourront donc n'être que des digues à péré, soit de dalles, soit de blocaille, soit enfin de bâtisse; car elles ne seront pas plus fatiguées par le courant que les éperons de rétrécissemens dans la réduction du lit d'une rivière (416).

Observations sur la position de la surface du radier.

434. Si l'on barre le lit de la rivière par un radier transversal au droit des murs en ailes d'aval, le couronnement de ce radier fixera en amont le fond du lit & empêchera le courant d'affouiller au-dessous de ce fond, ainsi qu'il a été dit au n. 215. Par conséquent le radier mettra tous les ouvrages en amont à l'abri de tout accident de la part des affouillemens. Mais, en même-tems, il faut éviter les chûtes ou cataractes qu'il pour-

roit produire, si son couronnement étoit trop haut (213 & 214); ce qui nuiroit & au radier lui-même & à la navigation ou à la flottaison. Ainsi ce couronnement doit être nécessairement placé à la profondeur de la corrosion que le courant exercera sous le pont.

TROISIÈME PARTIE.

De la Navigation, du Hallage & de la Flottaison des Rivières.

Définition de la navigation, du hallage & de la flottaison des rivières.

435. SI une rivière peut être remontée à la voile, elle est dite *navigable*. Or on sent que, pour cela, la vîtesse de l'eau & conséquemment la pente de la rivière doit être déterminée, & qu'il en est de même de sa profondeur.

Lorsque la profondeur de l'eau est très-petite, ou qu'étant compatible avec la navigation, la vîtesse ou la pente est trop considérable pour remonter à la voile, on effectue cette remonte par le moyen des chevaux qu'on attelle & qui traînent le navire en suivant le bord de la rivière. C'est ce qu'on appelle *hallage*.

Si la rivière n'a pas assez de profondeur d'eau pour la navigation, & cependant qu'elle en ait assez pour voiturer des radeaux, elle est dite *flottable*.

Conséquences qui en résultent:

Pour la navigation.

436. De la définition de la navigation, il suit:

1°. Que lorsqu'une rivière est navigable, si l'on augmente la profondeur de ses eaux, on augmente sa navigation.

2°. Que, par l'augmentation de profondeur, on rendra navigable une rivière qui ne sera que hallable ou flottable, pourvu que sa pente soit relative à la navigation.

Pour le hallage.

437. De la définition du hallage, il suit que le hallage deviendra d'autant plus facile qu'on diminuera davantage la pente de la rivière.

Pour la flottaison.

438. De la définition de la flottaison ou flottage, il suit qu'une rivière deviendra d'autant plus flottable que la profondeur de

ses

ſes eaux augmentera davantage. Par conſéquent en augmentant cette profondeur, on pourra auſſi :

1°. Rendre flottables ſans interruption les rivières qui ne le ſont que pendant une partie de l'année.

2°. Rendre flottables, au moins pendant quelques mois, pluſieurs rivières qui ne le ſont point du tout.

SECTION I.

De la Navigation des Rivières.

La forme des carènes des navires à voile, dépend de la profondeur des eaux de la rivière.

439. LA *forme des carènes des navires qui naviguent ſur les rivières dépend de la profondeur d'eau des navires.* Cela eſt naturel : car ſi ces rivières, ſoit par leur nature, ſoit par les marées, ont une grande profondeur d'eau, il n'y a point de raiſon pour exiger que les navires qui y entreront, aient des carènes différentes de celles des vaiſſeaux qui naviguent en pleine mer. Mais ſi, au contraire, les eaux y ſont peu profondes, les navires doivent, dans ce cas, avoir une forme de carène applatie qui s'adapte à cette profondeur.

Nous en avons un exemple dans les navires des rivières qui ont leur embouchure dans l'Océan, & dans ceux des rivières qui ſe jettent dans la Méditerranée. Les premiers ſont les mêmes que ceux qui ne voguent que ſur mer, à moins que quelque barre ne s'y oppoſe. Les autres, au contraire, ont preſque tous la carène applatie.

La navigation à la voile ſur les rivières a un terme.

440. Le navire, qui remonte une rivière à la voile, a beſoin de ſurmonter, à chaque inſtant, l'action que les eaux du courant exercent, par leur vîteſſe, ſur ſa proue. Plus cette action ſera grande, plus le navire aura de difficulté à la ſurmonter. Or nous avons vu (178 & 179) que la courbe, formée par

le fond d'une rivière, eſt aſſymptotique ; que les élémens ont toujours plus de pente en remontant, & (170) que la force de l'eau augmente avec cette pente. Donc ce navire arrivera à un point où l'action du vent ſur ſes voiles ſera en équilibre avec celle du courant ſur ſa proue, & où par conſéquent il ne pourra plus remonter.

La choſe eſt d'ailleurs prouvée par l'expérience; car toutes les rivières navigables ne peuvent être remontées à la voile que juſqu'à une certaine hauteur, quoique d'ailleurs elles aient profondeur d'eau.

Quel eſt ce terme?

441. Quel eſt le terme au-delà duquel un navire à la voile ne peut plus remonter? On ſent que la ſolution de cette queſtion dépend de diverſes conſidérations. 1°. Le vent qui enfle les voiles peut être plus ou moins fort & plus ou moins direct; 2°. il peut auſſi, ſuivant ſa direction, retarder plus ou moins la vîteſſe des eaux du courant. Cependant nous pouvons dire, qu'en général, cette remonte peut avoir lieu juſqu'à une certaine diſtance en amont du point où la rivière ceſſe de charier du gravier, & que le terme de la navigation eſt à l'endroit où la pente eſt d'environ 3 pouces $\frac{1}{2}$ ſur 100 toiſes.

C'eſt là ce que l'expérience nous apprend; car ſur le Rhône, les navires ne peuvent guères remonter au-deſſus de Beaucaire. Or, 1°. le fleuve ceſſe de charier du gravier à environ 3000 toiſes en aval; 2°. à la hauteur de Beaucaire, ſa pente eſt de 3 pouces $\frac{1}{2}$ ſur 100 toiſes à très-peu de choſe près.

Toutes les rivières à fond de ſable ou de limon, & qui ont une profondeur d'eau convenable, ſont navigables à la voile.

442. Il réſulte de-là que *toutes les rivières à fond de ſable ou de limon ſont navigables à la voile, pourvu qu'elles aient d'ailleurs la profondeur d'eau convenable à cet objet;* car (176) la pente d'une rivière augmente ou diminue avec la groſſiéreté des matières du fond, & (170) il en eſt de même de la force du courant; donc cette force ſera moindre aux endroits où le fond ſera en ſable ou limon, qu'à ceux où il ſera en gravier. Or le Rhône, à la hauteur de Beaucaire, eſt encore navigable à la

voile, en remontant, quoiqu'en cet endroit le fond soit en gravier. Donc, à plus forte raison, le sera-t-il aux endroits où le fond sera seulement en sable & limon. Par conséquent, on doit conclure, pour toutes les rivières, que si elles ont profondeur d'eau, elles seront navigables par-tout où le fond sera sable ou limon.

Les rivières à fond de gravier le sont aussi, lorsque leur pente n'excède pas 3 pouces $\frac{1}{2}$ sur 100 toises.

443. Il résulte encore de-là que *si, à l'endroit où une rivière cesse de pouvoir être remontée à la voile, on diminue sa pente en amont & qu'on la rende moindre que 3 pouces 6 lignes sur 100 toises, elle redeviendra navigable;* car, en diminuant sa pente, on diminuera sa vîtesse & sa force, & l'action du courant, sur la proue, ne balancera plus celle du vent sur les voiles.

Moyen de rendre navigable une rivière qui a trop de pente.

444. On peut employer, d'après cela, deux moyens pour proroger la navigation sur une rivière qui cesse d'être navigable par excès de pente. Le premier consiste à barrer son lit par un déversoir (185 & 186). Cet ouvrage, en diminuant la pente du lit, diminue aussi la vîtesse & la force de la rivière. Le second est de dériver supérieurement les eaux de la rivière, par un canal dont la pente soit au-dessous de 3 pouces $\frac{1}{2}$ sur 100 toises. Mais on sent que, dans l'un & l'autre cas, il y aura des chûtes, & qu'il faudra les racheter par des écluses.

De ces deux moyens, le premier n'est admissible que dans le cas où une rivière est bornée, de chaque côté, soit par un rideau de côteaux, soit par des berges assez hautes pour ne pouvoir pas être franchies. Le second, au contraire, est absolument indépendant de ces conditions, & peut très-avantageusement être employé dans tous les cas possibles.

La navigation à la voile exige une certaine largeur.

445. La navigation à la voile exige une certaine largeur de la part des rivières, pour pouvoir avancer, par la plupart des vents, en variant la position des voiles. Cependant nous voyons, par expérience, que les Hollandois naviguent, sur leurs canaux, quoique fort étroits en comparaison du lit des rivières, avec la même facilité que les Français sur la Seine, prise au-dessous de

Rouen. Par où il paroît, qu'étant plus expérimentés que nous dans ce genre de navigation, c'est chez eux que nous devons former des nautonniers, si jamais nous entreprenons de réaliser, en France, le magnifique projet de la navigation intérieure, projet agité depuis long-tems, auquel les localités se prêtent infiniment, & dont l'exécution ne laisseroit rien à desirer pour la prospérité nationale.

Elle exige aussi que les sinuosités ne soient pas trop dures.

446. La navigation, à la voile, exige encore que les sinuosités ne soient pas trop dures; car si elles sont trop fortes, il est possible que l'air de vent qui auparavant étoit favorable, devienne contraire. Ainsi, les replis tortueux d'une rivière, telle, par exemple, que la Seine, qui semblent souvent la faire rétrograder ou la ramener sur elle-même, doivent être regardés comme un obstacle qui peut en gêner plus ou moins la navigation. Cependant nous verrons plus bas que cet obstacle n'est pas insurmontable.

Les dépôts aux embouchures nuisent plus à la navigation sur la Méditerranée que sur l'Océan.

447. Nous avons vu, au n. 270, que le limon, charié par les rivières, en se déposant à l'embouchure, formoit des barres dans l'Océan & des isles dans la Méditerranée. Ces dépôts sont très-nuisibles à la navigation; car tant les barres sur l'Océan, que les isles naissantes (272) sur la Méditerranée, diminuent la profondeur des eaux & forment souvent des écueils très-dangereux; mais ils sont infiniment plus nuisibles dans la Méditerranée que dans l'Océan; car la marée ayant régulièrement lieu sur l'Océan, on sent que, pendant la marée montante, ces dépôts sont ordinairement couverts d'une assez grande profondeur d'eau pour que les navires puissent les franchir sans toucher: au lieu que la Méditerranée n'ayant point de marée, on n'a pas la même ressource.

L'expérience confirme cette assertion. Quoique toutes les rivières qui se jettent dans l'Océan contiennent des barres à leur embouchure, on voit néanmoins que les vaisseaux ont la facilité d'y entrer à marée haute. Le Rhône, au contraire, qui

s'évacue dans la Méditerranée, quoiqu'avec un volume d'eau plus considérable que celui de la plupart des autres rivières de la France, ne peut recevoir que des navires qui tirent seulement 4, 5, & 6 pieds d'eau.

D'autre part, la multiplicité des isles qui se forment à l'embouchure des rivières, dans la Méditerranée, divise le fleuve en plusieurs branches. Chacune de ces branches perd une partie de ses forces &, facilitant (271) les dépôts, la profondeur des eaux doit y diminuer continuellement, au lieu que la même cause n'a pas lieu sur l'Océan.

Les isles dans le lit des rivières, en gênent aussi la navigation.

448. *Les isles répandues sur le cours des rivières en gênent aussi la navigation;* car les isles, en partageant le courant en plusieurs branches, diminuent la largeur, la force & par-là même, la profondeur des eaux, étant visible que la diminution de force facilite les dépôts.

On en a des exemples dans les isles qui sont sur la Seine, la Loire, &c. On a constamment remarqué que ces isles sont très-pernicieuses à la navigation.

La trop grande largeur du lit nuit à la navigation.

449. *La trop grande largeur des rivières est un obstacle à la navigation*; car, dans la section du courant, la profondeur des eaux est en raison inverse de la largeur. Donc la largeur d'une rivière ne peut augmenter qu'aux dépens de la profondeur des eaux : d'où il suit que, si une rivière navigable étend son lit, la profondeur des eaux y diminuant, la navigation y sera gênée.

Impossibilité de détruire les dépôts à l'embouchure des rivières de la Méditerranée.

450. D'après ce que nous avons dit, au n. 447, on voit qu'il est impossible d'assurer la navigation à l'embouchure des rivières qui se jettent dans la Méditerranée. En effet que, pour éviter les dépôts, la formation des isles & la division en plusieurs branches, on resserre le lit de la rivière par des digues qui soient poussées, si l'on veut, jusques bien avant dans la mer, on n'anéantira pas pour cela le limon que le courant charie; ce limon continuera d'être entraîné & (11) s'arrêtera à l'endroit

où il y aura équilibre entre l'action du courant & la résistance des eaux de la mer, c'est-à-dire, aux environs de la nouvelle embouchure. Ainsi la difficulté ne sera pas détruite, mais seulement déplacée.

La navigation à l'embouchure des rivières dans la Méditerranée, exige essentiellement un canal.

451. Le seul moyen d'éviter les mouvemens inséparables de l'embouchure des rivières, dans la Méditerranée, est un canal de navigation particulière qui, communiquant avec le fleuve, pris à une certaine distance en amont de son embouchure, aboutisse à la mer, prise à un endroit où l'on n'ait pas à craindre les dépôts auxquels on veut se soustraire. Il seroit même à propos, si la chose étoit possible, que ce canal ne fût alimenté que par des eaux claires, pour éviter les effets des encombremens, pourvu toutes fois qu'on pût le mettre à sec pour les récuremens & les réparations; alors on seroit assuré d'une navigation constante & indépendante des variations qui ont continuellement lieu aux embouchures dont nous parlons.

Canal de Marius à l'embouchure du Rhône.

452. Il paroît que les Romains avoient ainsi vu la chose, relativement à la navigation à l'embouchure du Rhône; car, quoique leurs galères ne prissent pas beaucoup d'eau, cependant Marius construisit un canal particulier qui probablement partoit d'Arles, mais qui certainement passoit à Foz, dont le nom n'est qu'un corruptif de *fossa*. D'ailleurs, un ingénieur de notre connoissance, qui avoit été chargé, il y a plusieurs années, de faire exécuter un canal de communication entre la mer & l'étang de l'Estomach qui est à Foz, nous a assuré avoir découvert, pendant l'exécution de cette entreprise, les vestiges de ce canal qui, vraisembablement, aboutissoit à la mer, au pied de la colline de la *Lecque*, en-deçà du port de *Bouc*.

Nouveau canal projetté pour la même embouchure.

Ainsi, par la connoissance que nous avons des localités, nous croyons pouvoir assurer que jamais on ne viendra à bout de fixer, par d'autres moyens que par un canal semblable, la navigation à l'embouchure du Rhône. Ce canal peut être facilement alimenté, ou par celui des Alpines, ci-devant *Boisgelin*,

ou par le Vigueyrat & le canal de *Vuidanges.* Dans tous les cas, il doit communiquer avec le Rhône, pris à Arles, & aboutir au pied de la colline de la *Lecque*, pour arriver de-là au port de *Bouc*, ce qui eſt indiſpenſable. On ne peut pas tourner cette colline à cauſe des fondrières : il ſeroit très-coûteux de la couper, à cauſe qu'elle a environ 1200 toiſes d'étendue & 52 pieds de hauteur au point culminant. On peut lever toutes ces difficultés en conduiſant, au ſommet de la colline, un canal qui porteroit environ 20 pieds cubes d'eau par ſeconde ; ce canal ſeroit dérivé de la branche de celui des Alpines qui arroſe le Crau ; il ſeroit ſoutenu le long du penchant des collines qui ſéparent les étangs de *Lavaldue* & *d'Engrenieu* ; & ceux de *Citis* & du *Poura* ; &, arrivé au haut de la Lecque, il formeroit une retenue qui alimenteroit quatre écluſes de chaque côté de la colline. Ce ſeroit par le moyen de ces écluſes qu'on franchiroit la colline de la Lecque, pour paſſer, ſans coupement, du port de Bouc dans le canal, & réciproquement.

Nous avions communiqué ce projet aux ci-devant Etats de Provence, en 1787, & on le trouvera, ainſi que pluſieurs autres dont nous leur avions pareillement donné connoiſſance, dans le cahier de leurs délibérations pour la même année. Nous avons même encore les minutes des plans que nous avions dreſſés à ce ſujet par ordre de l'adminiſtration du ci-devant pays de Provence.

Impoſſibilité d'anéantir les barres à l'embouchure ſur l'Océan.

453. Les difficultés expoſées au n. 450 s'oppoſent auſſi, & par les mêmes raiſons, à la deſtruction des barres à l'embouchure de l'Océan. Toutes les digues qu'on établira, pour contenir le courant & lui donner plus de force, ne ſerviront qu'à les déplacer pour ſe reproduire plus loin. La barre de l'Adour à Bayonne, & les ouvrages qu'on y a conſtruits inutilement, pour la détruire, en ſont une preuve convaincante. Heureuſement, comme nous l'avons dit ci-deſſus (447), ces barres ſont beaucoup moins préjudiciables à la navigation ſur l'Océan,

que sur la Méditerranée; sans cette considération, il faudroit aussi recourir aux canaux dont nous venons de parler (452).

On doit barrer les branches des rivières navigables.

454. Puisque (448) la division des rivières, en plusieurs branches, est un obstacle à la navigation, il est visible que, pour rendre la navigation libre & aisée, il faut détruire ces branches & les réduire, autant qu'il sera possible, en une seule. Le courant, ainsi réduit, donnera plus de profondeur d'eau & permettra moins les obstructions & les encombremens. Nous avons vu (387 & 388) la manière d'opérer ces barrages.

Cas où dans ce barrage, il faut laisser un canal.

455. Il y a néanmoins des cas où les isles formées par ces divisions, sont très-étendues, & où les branches à barrer étant fort longues, & d'ailleurs plus ou moins navigables, favorisent le commerce de diverses communes riveraines. Ces branches ne pourroient être totalement barrées sans nuire à ces communes. Dans ce cas, la justice & le bien public exigent que les barrages ne s'effectuent qu'en partie, & qu'on laisse toujours passer un certain volume d'eau dans le lit de ces branches barrées, pour tenir lieu de canal de navigation. Ce volume d'eau étant considérablement diminué, on sent que la largeur du lit de la branche, ainsi fermé, doit diminuer dans la même proportion, par les encombremens latéraux qu'il sera aisé d'y produire, en employant la méthode prescrite aux n. 414 & 427. Or, les dépôts des rivières navigables ne donnent que des terreins de la première qualité & dont le bénéfice dédommagera, toujours avec usure, des dépenses de réduction.

On doit réduire les rivières navigables, quand leur lit est trop large.

456. Lorsqu'un excès de largeur du lit forme obstacle à la navigation, on sent qu'en détruisant cette cause, on détruit l'effet qui en résulte. Ainsi, la raison dit qu'en pareil cas, il faut réduire le lit de la rivière & ne lui donner que la largeur nécessaire à la navigation, &, en même-tems, disposer les ouvrages de manière qu'ils soient les moins coûteux possible, & que les eaux, lors des crues, puissent passer librement. Or, on réunira toutes ces conditions, en se conformant au mode

prescrit

preſcrit aux n. 414 & 417. Nous allons, à cet effet, entrer dans les détails convenables à l'importance du ſujet.

Détermination de la largeur à donner aux rétréciſſemens.

457. Suppoſons qu'on veuille augmenter la profondeur des eaux d'une rivière dans les tems ordinaires. Nous avons vu (211 & 212) qu'en rétréciſſant le lit, on obligeoit le courant à creuſer, & (217) que la profondeur de la corroſion eſt aſſez généralement, en raiſon inverſe de la largeur qu'on donne au lit rétréci. Tout dépend donc de la largeur du rétréciſſement qu'on déterminera par la proportion ſuivante: *La profondeur à donner aux eaux eſt à leur profondeur actuelle, comme la largeur actuelle du lit eſt à celle à donner au rétréciſſement.* Par conſéquent, ſi l'on ne donne au lit rétréci que la largeur exprimée par ce 4e. terme, on ſera aſſuré d'avoir la profondeur d'eau demandée. D'ailleurs, la choſe eſt évidente: car, à cauſe de l'uniformité de vîteſſe de la ſurface au fond, qui (103) a particulièrement lieu dans ces rivières, il eſt viſible que la maſſe, étant ſuppoſée conſtante, la profondeur doit être en raiſon inverſe de la largeur.

Au reſte, en rétréciſſant ainſi le lit d'une rivière, on n'a pas à craindre le gonflement des eaux, puiſque (217) l'abaiſſement du fond, par la corroſion, ſera égale à la hauteur du gonflement qui auroit lieu ſans corroſion. Par conſéquent, les eaux ordinaires ſe remettront à leur niveau: il n'y auroit que le cas où le fond, par ſa dureté ou ſa tenacité, ne pourroit pas être corrodé; mais alors on auroit recours au moyen indiqué au n. 422.

Les rétréciſſemens ne ſeront continués que par intervalles; manière de les opérer.

458. Pour que les ouvrages ſoient les moins coûteux poſſible, il ne faut pas qu'ils ſoient continus. C'eſt pour cette raiſon, qu'après avoir fixé, par la méthode preſcrite au n. précédent, la largeur à donner au lit, aux rétréciſſemens, on n'effectuera ces rétréciſſemens que par intervalles, conformément à ce que nous avons dit au n. 416; ſur quoi on doit obſerver:

1°. Que ces rivières n'ayant pas de lit majeur (246), on ne peut point, dans leur réduction, les diriger, en ligne droite, sur le plus long espace possible, ainsi que nous l'avons prescrit pour les rivières à fond de gravier; mais qu'il suffit de les réduire dans leur lit habituel; car (425) la corrosion du fond & conséquemment, l'augmentation de profondeur des eaux seront les mêmes dans l'un & l'autre cas.

2°. Que ces mêmes rivières ayant moins de pente que celles à fond de gravier (248), l'intervalle, entre deux rétrécissemens consécutifs, y sera plus grand à proportion (210). Par conséquent, pour réduire une rivière navigable sur une étendue déterminée, il faudra moins de rétrécissement que si la rivière étoit à fond de gravier.

3°. Que la réduction du lit qui (427), dans les rivières à fond de gravier, doit commencer en amont & être continuée en descendant, exige ici d'être commencée en aval & continuée en remontant; car l'effet de la corrosion s'étendant plus en amont qu'en aval, & le lit étant invariable, un rétrécissement quelconque facilitera l'établissement des rétrécissemens suivans en amont.

Différence entre la réduction d'une rivière à fond de sable ou de limon, & celle d'une rivière à fond de gravier.

459. Il y a encore une différence essentielle entre la réduction d'une rivière à fond de gravier & celle d'une rivière à fond de sable ou de limon; différence de laquelle dépend le libre passage des eaux de ces dernières pendant les crues. Nous avons vu (233) que, dans les rivières à fond de gravier, le couronnement des digues devroit être supérieur à la superficie des plus hautes eaux. La raison en est, que l'objet de ces digues, placées perpendiculairement au courant, est de le fixer à un endroit déterminé, supposé d'ailleurs assez large pour suffire au passage des plus fortes eaux, &, par-là, de gagner du terrein sur le lit majeur. Mais dans les rivières à fond de sable, si les digues transversales des rétrécissemens étoient élevées au-dessus des plus hautes eaux, il en résulteroit, sur-tout dans le prin-

cipe, des gonflemens très-considérables & dont les effets pourroient souvent être funestes, jusqu'à ce que le fond eut été convenablement corrodé.

Pour éviter cet inconvénient, les éperons ne doivent être élevés qu'à la hauteur de la surface des eaux d'équilibre (84). Quant aux digues transversales, leur couronnement se terminera en glacis incliné vers le courant & se raccordera, d'une part, avec celui des éperons, & de l'autre, avec les bords de la rivière.

Comme, dans les crues, les éperons seront sous les eaux, on indiquera le passage du courant ou celui des navires par des bouées ou signaux placés sur ces mêmes éperons, afin de les faire éviter.

Les ouvrages des rétrécissemens doivent être en bois.

460. Les ouvrages des rétrécissemens, quoique franchis par les eaux, pendant les crues, ne devant pas en être dégradés, il est nécessaire qu'ils soient construits en bois ou en pierre. Mais comme la construction en pierre seroit fort coûteuse, celle en bois paroît préférable. A cet effet, on emploiera des digues en palissades (388), en observant que les pilotis soient d'une grosseur proportionnée à leur longueur, qu'ils soient armés d'un sabot, enfoncés jusqu'à refus de mouton & solidement arrêtés entr'eux.

Forme des ouvrages dans le cas du hallage. Fig. 43.

461. Il y a des cas où l'on peut être obligé de ménager sur les ouvrages des rétrécissemens en chemin de hallage; alors la disposition des ouvrages doit éprouver un changement & être telle qu'il suit.

Soit ABCD (fig. 43) l'endroit à rétrécir sur le lit d'une rivière navigable. On construira, en pilotis, ainsi qu'il vient d'être dit (460), l'éperon FG & la digue GH, & on en garnira l'intérieur en tunages & en pierres, si la chose est possible. La digue EF, du côté d'amont, sera pareillement en pilotis, mais il n'y aura aucun emplissage, & elle sera à jour ou à claire

voie, pour permetre aux eaux de passer à travers les pilots & d'encombrer, par leurs dépôts, l'espace EFGH. Ce sera sur ces pilots, récépés de niveau sur FG, & en glacis sur EF & GH, ainsi qu'il a été dit (459), qu'on établira en madriers le chemin de hallage.

On fera la même chose sur l'éperon KL & les digues IK & LM respectivement, si l'on veut un chemin de hallage de chaque côté de la rivière.

Comment on garantira les ouvrages d'art des effets de la corrosion.

462. S'il se trouve, sur le lit de la rivière à réduire, des ouvrages d'art, tels que des ponts ou d'autres édifices quelconques, on doit, avant tout, en sonder la profondeur & la solidité des fondations. Dans tous les cas, on sent qu'avant d'opérer la réduction & de forcer le courant à corroder, la prudence exige qu'on en fortifie la base par de fortes bermes en pilotage, pour en garantir les fondations & les mettre à couvert de toutes dégradations.

Comment on franchira les ponts par la navigation à la voile.

463. Si l'on vouloit procurer la navigation à la voile à une rivière, qui auparavant n'eût joui que d'une navigation de hallage, & qu'il se trouvât des ponts sur son cours, les arches de ces ponts étant trop basses pour permettre le passage des navires mâtés, on leveroit la difficulté en pratiquant, au droit de ces mêmes ponts, des canaux d'environ 100 toises de longueur, plus ou moins, sur lesquels on construiroit des ponts-levis.

Avantages qui peuvent en résulter pour l'état.

464. C'est par ces moyens qu'on pourra augmenter, à volonté, la profondeur d'eau des rivières; d'où il suit (436): 1°. qu'on augmentera la navigation des rivières qui déjà étoient navigables, & qu'on les mettra en état de recevoir des navires de plus grand port; 2°. qu'un très-grand nombre de rivières de France, qui ne sont que hallables ou flottables par le défaut de profondeur d'eau, & qui n'ont que la pente relative à la navigation, pourroient devenir navigables.

SECTION II.

Du Hallage des Rivières.

465. D'APRÈS ce que nous avons dit au n. 435, le hallage a lieu dans deux cas; favoir: 1°. lorfque la rivière, ayant profondeur d'eau pour la navigation à la voile, fa pente en eft trop forte; 2°. lorfque cette pente, étant telle qu'elle doit être pour la navigation à la voile, la profondeur d'eau eft infuffifante. Confidérations fur le commencement du hallage & la forme des navires.

Dans le premier cas, nous pouvons dire que le hallage commence là où la navigation à la voile ceffe d'être poffible en remontant. Ainfi, en prenant le Rhône pour exemple, le hallage y commence à Beaucaire, parce que (441) c'eft en cet endroit que finit la navigation à la voile.

Dans le fecond cas, la forme des navires doit s'adapter à la profondeur des eaux; c'eft-à-dire que moins il y aura de profondeur d'eau, plus la coupe horifontale des navires doit être grande & leur profondeur petite. C'eft pour cette raifon que plufieurs rivières de France, telles que la Seine & fes affluens, en amont de l'endroit où la marée ceffe d'être fenfible, ne portent que des bâteaux plats, fort longs & affez larges, mais peu profonds, qu'on fait remonter au hallage, à caufe que cette forme n'eft aucunement propre à la voile.

466. D'après le même n. 435, le hallage n'ayant lieu que par des chevaux de trait qui traînent le navire en fuivant le bord de la rivière, il s'enfuit qu'il doit y avoir néceffairement un chemin le long de la rivière, & que, du côté qu'on le placera, il ne doit y avoir ni arbre ni ufine qui puiffe gêner ce genre de navigation. C'eft ce chemin qu'on appelle *chemin de* Il doit y avoir un chemin de hallage.

hallage, & qui même doit être continué ſous les arches extrêmes des ponts, comme on l'a pratiqué à Paris dans le magnifique pont de la Révolution.

Cas où il faut deux chemins.

467. Il arrive quelquefois que le hallage a lieu, non ſeulement en remontant la rivière, mais en la deſcendant. C'eſt lorſque la vîteſſe de la rivière n'eſt pas auſſi conſidérable que celle des chevaux de trait. Dans ce cas, il doit y avoir double chemin de hallage dont, l'un pour monter, & l'autre pour deſcendre: car on doit éviter la rencontre des convois de remonte & de deſcente.

Equation générale pour le hallage en montant & en deſcendant. Fig. 44.

468. Soient la vîteſſe du courant ou l'eſpace qu'il parcourt dans une ſeconde $= v$; l'eſpace qu'un cheval parcourt dans le même tems $= v'$;

L'impulſion de l'eau ſur un pied carré avec une vîteſſe d'un pied par ſeconde $= m$;

Le nombre des chevaux de trait employés au hallage $= n$;

L'effort habituel d'un cheval $= f$;

La vîteſſe relative ou d'impulſion du courant ſur le navire ſera $= v' \pm v$, ſuivant que le navire remontera ou deſcendra.

Cela poſé, par les principes d'hydraulique, les impulſions de l'eau ſur la même ſurface, étant comme les quarrés des vîteſſes, on aura l'impulſion ſur un pied carré ou la réſiſtance que le courant oppoſera à cette ſurface, qui ſera $= m.\overline{v' \pm v}^{2}$

Soit ABCD (fig. 44) la coupe longitudinale d'un bateau de hallage dont la face CD reçoit l'impulſion de la part du courant EFGH, ſous l'angle EKM. Menons du point E la ligne EM perpendiculaire à CD prolongée. Suppoſons EK le ſinus total $= 1$, & nommons a la perpendiculaire EM qui ſera le ſinus de l'angle d'impulſion.

Menons pareillement CL perpendiculaire à EK. Elle ſera la projection de la partie CK de la face CD qui ſera choquée par le courant. Nommons cette projection f.

Par les principes de la méchanique de Bézout, n. 411, l'im-

pulsion de l'eau sur un corps de figure quelconque est égale à celle qui auroit lieu sur la projection de la surface choquée, multipliée par le carré du sinus de l'angle d'incidence du fluide sur cette même surface: par conséquent, l'impulsion de l'eau sur le navire, ou la résistance qu'elle lui opposera, sera la même que si elle s'exerçoit immédiatement & directement sur sa projection s multipliée par le carré du sinus de l'angle d'incidence. Donc cette résistance sera $= ma^2 s . \overline{v' \pm v}^2$.

D'autre part, la force totale des chevaux de hallage sera $= nf$.

Donc, puisqu'il doit y avoir équilibre entre cette force & la résistance des eaux, on aura l'équation $nf = ma^2 s . \overline{v' \pm v}^2$.

Dans cette équation on observera que dans le buiome $v' \pm v$, le signe + est pour le cas de la remonte, & le signe — pour le cas de la descente.

Le courant d'une rivière hallable tient le milieu entre les fluides définis & les fluides indéfinis.

469. D'après les expériences du citoyen Bossut, lorsque le fluide est défini, on a $m = \frac{7}{5} lb$, & lorsqu'il est indéfini, on a $m = \frac{7}{6} lb$. Cette différence vient, ainsi qu'on le sent au premier abord, de ce que le navire ne peut avancer sans pousser une masse d'eau qui est obligée de se porter sur les derrières, pour y occuper le vuide que le navire y laisse. Or, dans ce passage elle éprouve d'autant plus de difficulté, que le navire laisse moins d'espace entre lui & les parois du canal dans lequel il se meut, & par-là même, elle réagit d'autant plus sur lui.

Si nous appliquons ce raisonnement au hallage, on verra 1°. que le navire cotoie assez ordinairement la rivière; 2°. que le courant y ayant en général peu de profondeur, & celle du navire lui étant proportionnée (465), il doit rester peu d'espace entre le fond de la rivière & le dessous du navire; 3°. enfin qu'il n'y a que le côté opposé à celui du hallage où le courant ne soit point gêné; par conséquent on peut dire, que dans

le hallage des rivières, le courant n'eſt ni défini ni indéfini, & qu'on doit y avoir $m > \frac{7}{6}\,lb$ & $< \frac{7}{3}\,lb$.

Ainſi en attendant que, par de nouvelles expériences, on ait réſolu la queſtion, nous croyons qu'on doit prendre la moyenne arithmétique entre ces deux réſultats, &, en conſéquence, dans l'application que l'on fera de l'équation précédente, ſuppoſer $m = \frac{21}{12} = \frac{7}{4}\,lb$.

Quelle eſt la force & la vîteſſe d'un cheval.

470. On ſait d'ailleurs que la force modérée d'un cheval eſt de 175 *lb*, lorſque ſa vîteſſe eſt de 3 pieds par ſeconde. Cependant on ſent que ces quantités peuvent varier; car ſi l'on augmente le nombre de chevaux, ſans augmenter la projection du navire, il eſt viſible que la force qu'exercera chaque cheval diminuera, & que, par conſéquent, la vîteſſe de l'attelage augmentera.

Formules pour le hallage en montant.

471. L'équation que nous venons de donner, nous fournit la ſolution de toutes les queſtions qu'on peut propoſer ſur le hallage. Appliquons-là d'abord au cas de la remonte, nous aurons:

1°. $n = \frac{ma^2 s}{f}\,\overline{v' + v}^{\,2}$.

Cette formule nous fait voir que pour connoître le nombre de chevaux, il faut multiplier le quarré de la ſomme des vîteſſes de l'attelage & du courant, par la projection & le quarré du ſinus de l'angle d'impulſion; diviſer le produit par la force d'un cheval, & multiplier le quotient par la quantité $\frac{7}{4}$.

2°. $f = \frac{ma^2 s}{n}\,\overline{v' + v}^{\,2}$.

D'où l'on conclud que pour avoir la force d'un cheval, il faut multiplier la projection par le quarré du ſinus de l'angle d'impulſion & par celui de la ſomme des vîteſſes de l'attelage & du courant; diviſer le produit par le nombre de chevaux & multiplier le quotient par $\frac{7}{4}$.

3°. $s = \frac{nf}{ma^2\,\overline{v' + v}^{\,2}}$

C'eſt-à-dire que, pour connoître la projection, on multipliera

pliera la force d'un cheval par le nombre de chevaux de l'attelage & on divisera par la quantité $\frac{7}{4}$ multipliée par le quarré de la somme des vîtesses de l'attelage & du courant, & par celui du sinus de l'angle d'impulsion.

4°. $v' = -v + \sqrt{\frac{nf}{ma^2 s}}$

Donc si l'on veut connoître la vîtesse de l'attelage, on multipliera la force d'un cheval par le nombre de chevaux; on divisera le produit par la projection multipliée par $\frac{7}{4}$ & par le quarré du sinus de l'angle d'impulsion; on extraira la racine quarrée du quotient & on en retranchera la vîtesse du courant.

5°. $v = -v' + \sqrt{\frac{nf}{ma^2 s}}$

Par conséquent, pour avoir la vîtesse du courant, on retranchera la vîtesse de l'attelage de la racine quarrée de la formule précédente.

472. En appliquant l'équation au cas de la descente, nous aurons les cinq formules suivantes. Formules pour le hallage en descendant.

1°. $n = \frac{ma^2 s}{f} \overline{v' - v}^2$

Cette formule nous fait voir que, pour avoir le nombre de chevaux, il faut multiplier par la projection le quarré du sinus de l'angle d'impulsion & celui de la vîtesse de l'attelage, diminuée de celle du courant, diviser le produit par la force d'un cheval, & multiplier le quotient par $\frac{7}{4}$.

2°. $f = \frac{ma^2 s}{n} \overline{v' - v}^2$

C'est-à-dire que, pour avoir la force d'un cheval, il faut multiplier la projection par le quarré du sinus de l'angle d'impulsion & par celui de la vîtesse du convoi, diminuée de celle du courant; diviser le produit par le nombre de chevaux, & multiplier le quotient par $\frac{7}{4}$.

3°. $s = \frac{nf}{ma^2 \overline{v' - v}^2}$

D'où l'on conclud, que pour avoir la projection, il faut mul-

tiplier la force d'un cheval, par le nombre de chevaux, & divifer le produit par la quantité $\frac{7}{4}$ multipliée par le quarré du finus de l'angle d'impulfion & par celui de la vîteffe de l'attelage, diminuée de celle du courant.

4°. $v' = v + \sqrt{\frac{nf}{ma^2s}}$

Donc on aura la vîteffe de l'attelage, en divifant par le quarré du finus de l'angle d'impulfion, multiplié par la projection prife $\frac{7}{4}$ fois, le produit de la force d'un cheval par le nombre des chevaux, & en ajoutant à la racine quarrée du quotient la vîteffe du courant.

5°. $v = v' - \sqrt{\frac{nf}{ma^2s}}$

Par conféquent la vîteffe du courant fe trouvera, en retranchant de la vîteffe de l'attelage la racine quarrée de la formule précédente.

Raifons pour lefquelles les rivières des pays de montagnes ne font pas hallables.

473. Dans l'expreffion $ma^2s.\overline{v'+v}^2$ de la réfiftance, lors de la remonte, on voit que plus v augmentera, plus la réfiftance s'accroîtra. Par conféquent, plus la rivière aura de vîteffe ou de pente, plus le hallage deviendra difficile. Et puifque (161 & 178) les rivières ont plus de pente dans les pays de montagnes, que dans les pays de plaines, il s'enfuit que le hallage fera d'autant plus difficile, que le pays fera plus montueux.

La chofe eft prouvée par l'exemple du Rhône, de la Haute-Loire & de la Garonne.

Dans quel cas on doit renoncer au hallage.

474. De-là on peut déduire le cas où le hallage doit être abandonné. En effet, l'objet du hallage eft de faciliter les tranfports & d'économifer fur les frais des voitures. Or, plus la vîteffe du courant augmentera, plus la réfiftance $ma^2s.\overline{v'+v}^2$ deviendra forte, &, par conféquent, plus il faudra d'agens & de chevaux. Par toutes ces augmentations, on fent qu'il y aura enfin un terme où il fera indifférent pour les frais, que le tranfport fe faffe par eau ou par terre, & au-delà duquel il fera

moins coûteux d'opérer ce tranſport par roulage, que par hallage. On trouvera ce terme de la manière ſuivante.

1°. On évaluera, par les formules du n. 471, le nombre de chevaux à employer & celui des agens & conducteurs, l'eſpace qu'ils pourront parcourir dans un tems déterminé & le nombre de jours qu'ils feront en route. D'où l'on connoîtra les frais de tranſport par le hallage.

2°. Le poids des marchandiſes étant cenſé connu, on évaluera facilement les frais de leur tranſport par le roulage.

3°. Si les frais, par eau, ſont moins forts que par terre, il faut préférer le hallage. Il faudra même lui donner la préférence dans le cas de l'égalité, à cauſe que, dans ce cas, on procure des chevaux à l'agriculture & qu'on ne dégrade pas les routes. Mais lorſque les frais par eau ſont ſenſiblement plus forts que ceux par terre, il n'y a plus à héſiter, & le hallage doit être abandonné.

C'eſt pour cette raiſon que jamais on n'a entrepris de hallage pour remonter certaines rivières très-rapides, telles que la Durance, &c.

475. Dans l'équation générale $nf = ma^2 s.\overline{v' + v}^2$, on voit auſſi que, ſi la vîteſſe v du courant diminue, le ſecond membre diminuera auſſi, & que, par conſéquent, le premier membre ſubira la même diminution. D'où l'on conclud que le hallage de remonte deviendra d'autant plus facile, &, conſéquemment, d'autant moins coûteux, que la vîteſſe du courant ou ſa pente (170) ſera moins conſidérable. Donc, puiſque (160 2°.) dans les pays de plaines, le fond n'eſt pas en gravier, & que, par conſéquent (176), la pente y diminuera, le hallage y deviendra plus facile. Le hallage eſt facile ſur les rivières des pays de plaines.

Ainſi les rivières des pays de plaines étant plus propres au hallage de remonte que celles des pays de montagnes, doivent procurer auſſi de plus grands avantages au commerce. On en a

la preuve dans la comparaiſon qu'on peut faire de la Seine & de ſes affluens avec le Rhône.

Canaux latéraux à ſubſtituer aux rivières trop rapides.

476. Puiſqu'il eſt avantageux, pour le hallage, que le courant ait le moins de pente poſſible, il ſuit qu'on peut améliorer celui des rivières qui ont trop de rapidité, comme le Rhône, la Haute-Loire & la Garonne, en leur ſubſtituant des canaux latéraux dont la pente ſera telle qu'il conviendra de la leur donner pour faciliter les tranſports, & dont les chûtes qui en réſulteront ſeront rachetées par des écluſes. Ces ſortes d'ouvrages réuniront beaucoup d'avantages que n'ont pas les rivières dont nous parlons. Car, outre que la pente y ſera moindre, ils auront conſtamment la même profondeur d'eau, & le courant y aura toujours la même vîteſſe. D'ailleurs on y ſera à l'abri des accidens des crues.

Il eſt donc très-eſſentiel, pour le hallage de remonte, de ſubſtituer des canaux latéraux, aux rivières qui ont trop de rapidité. Ces canaux doivent être regardés comme des rivières artificielles ſubſtituées aux rivières naturelles, & qui n'ont aucun des inconvéniens de ces dernières.

Cas où l'on peut, par barrage, rendre hallable une rivière.

477. Si l'on ſuppoſe qu'une rivière, dont la pente eſt trop forte pour le hallage de remonte, ait des bords aſſez élevés pour ne pas faire craindre les inondations, on peut diminuer cette pente & faciliter le hallage en barrant, par intervalles, ſon lit par des déverſoirs (183 & 184). Dans ce cas, on produira des chûtes aux déverſoirs, & il faudra les racheter par des écluſes, ainſi que nous l'avons déjà dit au n. 444. Mais nous devons obſerver que ce moyen n'eſt praticable que ſur les petites rivières. Car, lorſque les rivières ſont conſidérables, les ouvrages ſeroient exceſſivement coûteux, & il vaudroit beaucoup mieux, ſous tous les rapports, leur ſubſtituer des canaux latéraux (476).

Dans quel cas on peut employer le

478. Reprenons l'équation fondamentale, & appliquons-là au

cas du hallage de descente. Nous aurons $nf = ma^2 s.\overline{v'-v}^2$. Dans cette équation, si v' est $= v$, on aura $v'-v = o$, & par conséquent, $nf = o$; ce qui nous fait voir, que si la vîtesse de l'attelage est égale à celle du courant, la force des chevaux sera inutile, & que celle du courant suffira.

Hallage en descendant.

Si au contraire on a $v' > v$, alors $v'-v$ donnera une quantité positive, & nf aura une valeur déterminée. D'où l'on conclud que *le hallage, en descendant, exige que la vîtesse du courant soit moindre que celle des attelages.*

Si l'on supposoit $v' < v$, $v'-v$ seroit négative & supposeroit que l'attelage détruit une partie $= v'$ de la vîtesse du courant. Mais ce cas n'a jamais lieu.

Ce qu'il faut faire lorsque la rivière n'a pas assez de profondeur d'eau.

479. Si la pente d'une rivière est compatible avec le hallage, mais que la profondeur des eaux y soit insuffisante, on pourra augmenter cette profondeur & rendre la rivière parfaitement hallable, en rétrécissant son lit par intervalles & en se conformant à ce que nous avons dit, à ce sujet, dans la section précédente.

Conséquence essentielle pour les rivières des pays de plaines.

480. Il suit de là, que (475) toutes les rivières en pays de plaines, n'ayant qu'une pente propre au hallage, peuvent être rendues hallables lorsqu'elles ne sont pas flottables; &, qu'étant déjà hallables, le hallage peut y être considérablement augmenté, en recevant des barques qui prennent une plus grande hauteur d'eau.

Cette conséquence est essentielle pour une infinité de rivières de la France & en particulier pour plusieurs des affluens de la Seine.

SECTION III.

De la Flottaiſon des Rivières.

Cas où la rivière ne ſeroit que flottable.

481. SI une rivière n'a pas aſſez de profondeur d'eau pour les bateaux, mais qu'elle en ait aſſez pour les radeaux (435), ou ſi, ayant aſſez de profondeur pour les bateaux, elle a trop de pente pour le hallage (474), elle ſera ſeulement flottable.

Flottaiſon des radeaux.

482. La flottaiſon conſiſte à livrer à l'action du courant un aſſemblage de corps réunis ſous la forme de radeaux ou de trains de bois & à le laiſſer flotter ſur la ſurface des eaux qui l'entraîne. Par où l'on voit qu'il y a cette différence eſſentielle entre le hallage & le flottage : c'eſt que le premier ſe fait ordinairement en remontant & en s'oppoſant au courant, au lieu que le ſecond n'a lieu qu'en deſcendant & par l'action du courant.

Flottaiſon à *pièces perdues*.

483. Quelquefois le flottage ſe fait à pièces perdues. Cela arrive lorſque les pièces ne ſont pas aſſemblées en radeaux ou en trains. Dans ce cas, il eſt eſſentiel que les pièces ſoient ſpécifiquement plus légères que l'eau : car, ſans cette condition, elles ne ſurnageroient pas & deſcendroient au fond. Dans le cas, au contraire, où elles forment des radeaux, il faut que le ſyſtême pèſe moins qu'un pareil volume d'eau. Par conſéquent, dans un radeau ou train de bois, il peut y entrer des matériaux plus peſans que l'eau, pourvu que le reſte compenſe cet excès de poids. C'eſt par cette raiſon, que les radeaux compoſés de bois légers, tel que le ſapin, peuvent ſervir à tranſporter diverſes marchandiſes plus peſantes.

Tout corps, ou ſyſtême de corps flottant, ne doit jamais toucher le fond.

484. Nous avons vu (439 & 465) que, dans les rivières navigables & flottables, la profondeur des eaux règloit celle

des navires. De même auſſi, dans les rivières flottables, la profondeur des eaux détermine la hauteur ſoit des radeaux, ſoit des trains de bois qu'on doit faire flotter. En général on peut regarder comme principe que *tout corps ou ſyſtême de corps, qui doit être tranſporté par le moyen des eaux, ne doit jamais toucher le fond.*

485. Il ſuit delà, que, puiſqu'il eſt avantageux qu'un radeau ou un train quelconque flottant, ait le plus de hauteur poſſible, il eſt auſſi avantageux *qu'une rivière flottable ait la plus grande profondeur d'eau poſſible.* En conſéquence, on doit faire enſorte d'augmenter cette profondeur, en détruiſant les obſtacles qui la diminuent.

Conſéquence qui en réſulte pour la flottaiſon.

486. *La trop grande largeur eſt nuiſible au flottage.* Car plus la largeur augmente, plus la profondeur des eaux diminue. Donc (484) les radeaux & les trains y auront moins de hauteur; ce qui (485) eſt déſavantageux.

Un lit trop large nuit au flottage.

487. *La diviſion d'une rivière en pluſieurs branches eſt un obſtacle à la flottaiſon.* La choſe eſt évidente. Car les branches priſes ſéparément auront moins de profondeur d'eau que ſi elles étoient priſes collectivement : d'ailleurs cela eſt prouvé par l'expérience.

Il en eſt de même : 1°. de la diviſion des rivières.

488. *La diminution du volume d'eau d'une rivière eſt pernicieuſe à ſa flottaiſon.* Car cette diminution en amène une dans la profondeur. C'eſt pour cette raiſon, que dans la ſaiſon des baſſes eaux, beaucoup de rivières ceſſent d'être flottables.

2°. De la diminution du volume d'eau.

489. *Les gros quartiers de pierre qui ſont arrêtés dans le lit d'une rivière* (208) *en gênent la flottaiſon.* Car ces pierres qui faillent au-deſſus du fond de la rivière, diminuent en ces endroits la profondeur des eaux, & forment, pour ainſi dire, des écueils dans le courant.

3°. Des gros quartiers de pierre.

490. *Les chûtes ou cataractes ſont contraires à la flottaiſon.* Soit ABCD (fig. 45) le fond du lit d'une rivière qui a une cataracte en BC. Lorſque le radeau E ſera arrivé à la chûte, il prendra

4°. Des chûtes ou cataractes.

la poſition F qui pourra lui faire toucher le fond & peut-être l'y faire échouer. Mais, dans tous les cas, ſa poſition inclinée pourra nuire aux conducteurs & aux marchandiſes.

La flottaiſon exige : 1°. qu'on retréciſſe le lit des rivières.

491. La première choſe à faire pour aſſurer & faciliter la flottaiſon d'une rivière, eſt d'en rétrécir & d'en réduire le lit, ſuivant le ſyſtême que nous avons preſcrit aux n. 414 & 428. Par ce moyen, 1°. la profondeur d'eau augmentera ; 2°. il n'y aura point de diviſion ; 3°. on gagnera du terrein à l'agriculture.

2°. Qu'on atténue les gros quartiers de pierre.

492. Les pierres ſaillantes (489) doivent être atténuées à la poudre. Ainſi décompoſées & diviſées, les éclats ſeront entraînés par le courant, ou enterrés (208) dans le gravier. Mais, dans l'un & l'autre cas, ils ne gêneront plus la flottaiſon.

3°. Qu'on détruiſe les cataractes. Fig. 45.

493. Les cataractes doivent pareillement être détruites par l'action de la poudre. Ainſi, dans la figure 45, la partie ACB devroit être enlevée pour racheter la caſcade BC, par le plan incliné AC, qui fait, avec la partie reſtante CD du lit, un angle ACD beaucoup plus obtus que l'angle BCD.

Avantages qui réſulteront de ces opérations pour la flottaiſon.

494. En employant ces moyens, on voit :

1°. Qu'une rivière, qui ſouvent n'eſt pas flottable, ſoit par ſa trop grande largeur, ſoit par les iſles qui ſe forment dans ſon lit, quoiqu'elle ait d'ailleurs un volume d'eau ſuffiſant, deviendra conſtamment flottable.

2°. Qu'il en ſera de même d'une rivière dont le volume d'eau ſuffit au flottage, mais dont le lit eſt barré par des chûtes, ou obſtrué par des rochers.

3°. Qu'une rivière, qui, par ſes diviſions, n'eſt flottable qu'une partie de l'année, peut le devenir ſans interruption.

4°. Enfin qu'une rivière, qui n'étoit flottable dans aucun tems, peut le devenir pendant les mois pluvieux de l'année.

C'eſt ce que nous avions déjà dit en paſſant au n. 438.

Avantages qui en réſulteront pour l'Etat.

495. En aſſurant ainſi la flottaiſon des rivières, il en réſulteroit de très-grands avantages pour l'Etat, en effet :

1°. Les rivières dont nous parlons, ayant beaucoup de pente, sont toujours (160. 1°.) dans des pays de montagnes. Or c'est particulièrement des montagnes que nous viennent les bois de charpente, soit civile, soit navale; on pourroit donc se les procurer, avec bien plus de facilité, par le flottage, que par le roulage toujours fort difficile dans ces sortes de pays où les chemins manquent assez souvent.

2°. Par la même voie, l'exportation des ouvrages d'industrie & du superflu des denrées de ces pays se feroit à bien moins de frais par radeaux, ce qui seroit un avantage pour le commerce.

Cas où l'on doit substituer à la rivière un canal latéral de hallage.

496. Il y a néanmoins des cas où il est à propos de substituer à la flottaison d'une rivière, un canal latéral de hallage, tel que ceux dont nous avons parlé au n. 476. Si, par exemple, les deux extrêmes de ce canal peuvent être considérés comme deux points centraux qui réunissent chacun un commerce fort étendu, il n'y a pas à hésiter sur la construction d'un pareil canal. On pourroit, d'après cela, construire un canal de hallage latéral au Rhône depuis Genève jusqu'à Lyon. Car Genève seroit regardé comme l'entrepôt général des denrées & des marchandises de la Suisse & du Mont-Blanc; tandis que Lyon seroit celui des denrées & des marchandises de toute la France.

Mais lorsqu'il n'y a pas un certain équilibre entre les masses de commerce dont les deux points extrêmes sont susceptibles, un pareil canal ne doit jamais être entrepris. C'est pour cette raison qu'il seroit absurde de construire un canal de hallage latéral à la Durance, pour faire communiquer le département des Bouches-du-Rhône avec les départemens des Hautes & Basses-Alpes; car le premier doit être regardé, par rapport à Marseille, comme le centre d'un commerce immense, tandis que les deux autres, par leur situation & la nature des lieux, ne présentent rien qui mérite d'entrer en parallèle avec les avantages dont jouit le départe-

ment des Bouches-du-Rhône. Par conséquent il n'y auroit aucun échange qui valût la peine d'un canal aussi coûteux que le seroit celui dont nous parlons.

SECTION IV.

De la Navigation intérieure de la France.

Principe d'après lequel on doit opérer pour la navigation intérieure.

497. DEPUIS long-tems on ne cesse de parler de la navigation intérieure de la France. Mais jusqu'à présent il paroît qu'on n'a pas encore précisé l'idée qu'on doit attacher à un pareil projet. Cependant il est très-essentiel d'être d'accord sur la chose avant de discuter les moyens d'exécution. On ne nous saura donc pas mauvais gré de donner nos idées sur cet important objet, ainsi que sur tout ce que nous avons traité dans cet ouvrage; nous n'avons sur celui-ci en particulier qu'un seul principe dont nous ne nous éloignerons jamais. Ce principe consiste à *n'exécuter que les travaux d'absolue nécessité & à employer les moyens les plus simples & les moins coûteux.*

Avantages qu'a la France pour effectuer la navigation intérieure.

498. Il seroit peut-être difficile de rencontrer sur la surface du globe un pays plus favorisé par la nature, du côté des rivières. Les Alpes, les Pyrénées, les montagnes des départemens formant la ci-devant Auvergne, nous fournissent le Rhône, la Garonne, l'Adour, la Loire & une infinité de rivières d'un ordre inférieur; tandis que les masses élevées de la ci-devant Bourgogne & de la ci-devant Franche-Comté nous donnent la Seine, la Meuse, la Moselle, la Saône &c. La plus grande partie de ces rivières se dirigent de l'Est à l'Ouest, & portent leurs eaux dans l'Ocean; quelques-unes se dirigent du Sud au Nord. Le Rhône seul & ses affluens prennent leur direction du Nord au Sud & vont se jetter dans la Méditerranée; par où l'on voit

que, par le moyen de toutes ces rivières, l'intérieur de la France peut communiquer avec l'Océan français, la mer d'Allemagne & la Méditerranée.

499. D'après ce que nous avons dit (45 & 51..1°.), les rivières prennent leur ſource dans les montagnes. Leur lit pris depuis leur ſource juſqu'à la mer, forme (179) une courbe aſſymptotique; c'eſt-à-dire que leur pente eſt à ſon *minimum*, à leur embouchure, & qu'elle augmente continuellement, en remontant vers leur ſource (178). Les rivières ſous le rapport des tranſports, ont trois parties remarquables.

Il arrive de là que les rivières, conſidérées relativement aux tranſports, ont trois parties remarquables.

La première de ces parties eſt celle où elles n'ont que le degré de pente requis par la navigation à la voile. Cette partie eſt aiſée à diſtinguer, car (441 & 442) le fond ne contient que du ſable & du limon. Si elle contient du gravier, ſa pente ne doit pas excéder 3 pouces & demi ſur 100 toiſes de longueur, & elle eſt toujours contiguë à la mer (103 & 251).

La ſeconde partie ſuit immédiatement la première, en remontant vers la ſource; c'eſt celle dont la pente, augmentant au-delà de 3 pouces & demi ſur 100 toiſes (441), imprime aux eaux un degré de vîteſſe, & conſéquemment un degré de force qui ne peut être ſurmonté que par le hallage. Or, phyſiquement, cette partie n'auroit pas de limites & abſorberoit même la troiſième dont nous allons parler, puiſqu'à la rigueur, on peut indéfiniment augmenter le nombre des chevaux de trait: mais on doit les fixer moralement & par le parallèle des frais de tranſport par eau & par terre, conformément à ce que nous avons dit précédemment (474).

La troiſième partie commence là où finit la ſeconde, & ſe propage en remontant juſqu'à la ſource. Elle eſt excluſivement affectée à la flottaiſon, à cauſe de la grande pente du lit (178) & de la rapidité du courant qui en eſt l'effet (170).

500. Nous avons dit (484) *que tout corps ou ſyſtême de corps*

qui doit être transporté par le moyen des eaux, ne doit jamais toucher le fond. D'où il suit, qu'avec la pente relative à la navigation à la voile, au hallage & à la flottaison, il faut encore une certaine profondeur d'eau.

Nous avons vu (457 & 458) les moyens à employer pour se procurer cette profondeur dans la première partie du lit des rivières, & (479) que ces mêmes moyens sont applicables à la seconde partie Quant à la troisième partie, nous avons dit (486 & 494) ce qu'il convenoit de faire pour le même objet.

501. Enfin nous avons dit (451), que par le moyen d'un canal, on éluderoit les obstacles inséparables de l'embouchure des rivières dans la Méditerranée (476); que le même moyen faciliteroit beaucoup le hallage dans la seconde partie du lit des rivières, & (496) qu'on pouvoit aussi, dans certains cas, employer le même moyen de canaux latéraux sur la troisième partie.

502. Supposons donc, 1°. que par les moyens cités (500 & 501), on perfectionne la navigation & le hallage de toutes les rivières de la France qui en seront susceptibles, tant par leur pente que par le volume de leurs eaux; 2°. que, dans le cas où le volume d'eau seroit insuffisant, on y supplée, soit par des canaux particuliers, soit par des déversoirs; 3°. qu'on substitue même le hallage à la flottaison par des canaux latéraux. Il est certain que, dans cette hypothèse, toutes les rivières de l'Etat auroient reçu tout le degré de perfection possible, relativement à la navigation intérieure; car il est visible qu'alors il n'y en auroit aucune qui ne pût être regardée comme un canal qui seroit, ou navigable à la voile, ou hallable.

Des grandes vallées de la France.

503. Nous avons vu (54) que les eaux pluviales avoient sillonné, de vallées, les continens & les isles. Ce sont les endroits les plus bas de ces vallées qui sont occupés par les rivières. La France en contient cinq de la première grandeur & plusieurs d'un ordre inférieur. Celles de la première grandeur sont les

les vallées du Rhin, du Rhône, de la Seine, de la Loire & de la Garonne. Les autres ſont principalement celles de la Somme, de la Charente, de l'Adour, du Var. Enfin il y en a un grand nombre d'autres qui ſont moindres que les précédentes & qui ſont occupées par une foule de petites rivières dont nous venons de faire l'énumération. D'après le même n. 54, toutes ces vallées ſont ſéparées les unes des autres par des chaînes de montagnes qui ont plus ou moins d'élévation, ſuivant les localités & les endroits où on les compare. Ce ſont les crêtes ou lignes culminantes de ces chaînes qui forment la ligne de *marcation* de ces vallées.

En quoi conſiſteroit la navigation intérieure, priſe dans toute ſon extenſion.

504. Tout étant donc préparé & mis dans l'état mentionné au n. 502, la navigation intérieure, priſe dans toute ſon extenſion, ſuppoſeroit encore deux choſes. La première ſeroit des canaux de communication entre deux vallées conſécutives & adjacentes, qui franchiſſent, ſoit par des écluſes, ſoit par des percemens ſouterreins, les chaînes des montagnes qui les ſéparent. La ſeconde ſeroit de faire pareillement communiquer, par les mêmes moyens, ſoit avec les rivières, ſoit avec les canaux dont nous venons de parler, les principales villes qui ſe trouvent ſur les côtes, ou dans l'intérieur, & qui n'ont pas de rivières particulières.

Tel ſeroit le plan de la navigation intérieure, en mettant à contribution toutes les rivières que la nature nous a données, & tel eſt celui que bien des perſonnes, animées du bien public, ſe ſont propoſé. Nous ne pouvons pas nous diſſimuler, en effet, que, ſi un pareil plan pouvoit recevoir ſon exécution, la France ne devînt l'état le plus floriſſant de l'univers : car les canaux ſi vantés, ſoit de la Chine, ſoit de la Lombardie, n'auroient rien qui pût en approcher. Mais ce n'eſt pas tout de faire des projets, il faut encore qu'ils ſoient exécutables. Nous allons donc examiner ſi celui dont il s'agit eſt ſuſceptible d'exé-

cution; &, dans le cas de la négative, de quelle manière il doit être amendé pour pouvoir être exécuté.

Rapports sous lesquels le bien public exige qu'on envisage les projets.

505. Lorsqu'une compagnie financière entreprend un ouvrage, il faut que le produit annuel qu'elle en percevra, fournisse à tous les frais d'entretien & de régie, & que, de plus, elle trouve l'intérêt de ses fonds à un denier assez haut, pour que, dans un tems déterminé, elle puisse se rembourser de toutes ses avances & des intérêts ordinaires y relatifs, & qu'après cette époque, tout soit bénéfice pour elle : c'est le seul calcul qui serve de base à ses spéculations à cet égard, & elle n'en fait point d'autre. Le desir d'opérer la prospérité publique, motif qu'on ne cesse de mettre en avant suivant l'usage, n'y entre ordinairement pour rien; l'intérêt particulier en est seul le mobile. Au contraire, lorsque le gouvernement se charge de l'exécution d'un projet, l'intérêt public en est toujours l'ame & la cause première. Or, l'intérêt public peut alors être envisagé sous quatre rapports, savoir : 1°. Lorsque le projet est utile au commerce de la généralité ou d'une grande partie de l'état; 2°. lorsqu'étant circonscrit pour une contrée déterminée, il peut produire avec usure l'intérêt des fonds; 3°. lorsqu'il peut améliorer, soit le sol, soit le commerce d'un pays, & procurer à l'Etat une augmentation considérable de revenus, résultante des impositions tant directes qu'indirectes; 4°. enfin, lorsque le pays, supposé d'ailleurs très-circonscrit, étant mal-sain par des marais, le projet tendroit à y rendre l'air salubre.

Nous allons examiner successivement chacun de ces rapports.

Dans quels cas le gouvernement doit se charger de l'exécution de projets.

506. 1°. Lorsqu'un projet est utile au commerce de la généralité ou d'une grande partie de l'Etat, il n'y a aucun doute que le gouvernement ne doive prendre les moyens de l'exécuter; car l'objet d'un bon gouvernement doit être le bien général, & à défaut, celui du plus grand nombre.

2°. Lorsque le projet étant circonscrit pour une contrée déterminée, il peut produire, avec usure, l'intérêt des fonds; le gouvernement ne doit pas hésiter non plus à le mettre à exécution; car, dans ce cas, le gouvernement peut se regarder comme une compagnie financière qui a pour objet de placer avantageusement ses fonds. Or alors il en résulte nécessairement un bénéfice pour l'Etat.

3°. Le même avantage a également lieu pour l'Etat si, par l'amélioration, soit du sol, soit du commerce d'une contrée, il en résulte une augmentation de contributions, soit directes, soit indirectes, qui excède l'intérêt des fonds d'exécution. Par conséquent il est visible que l'Etat ne doit pas rejetter un projet de cette nature.

4°. Enfin, lorsqu'il s'agit de rendre salubre l'air d'une contrée, on ne peut pas mettre en problême si le gouvernement doit s'en occuper, quand même il placeroit ses fonds avec perte, car nous sommes tous membres de la grande famille de l'Etat. Or, si dans une famille il y a une partie souffrante, l'autre partie doit naturellement venir à son secours, & faire pour cela tous les sacrifices que l'humanité exige.

Rapportons à présent, à ces motifs, les diverses parties qui doivent former l'ensemble du projet de la navigation intérieure telle que nous l'avons présentée ci-dessus (502 & 504).

507. La navigation de l'embouchure & de la première partie (499) de toutes les rivières déjà navigables, par le volume de leurs eaux, est sans contredit un objet d'utilité générale, puisque c'est par le moyen de ces rivières que les marchandises, venant de l'étranger, peuvent pénétrer dans l'intérieur, sans versement préliminaire. Ainsi, sous ce rapport, la navigation des grandes rivières, telles que le Rhône, l'Adour, la Garonne, la Charente, la Loire, la Seine, la Somme & l'Escaut, doivent spécialement fixer l'attention du gouvernement; & comme il est très-intéressant, pour la prospérité publique, d'économiser

La navigation des grandes rivières doit fixer l'attention du gouvernement.

dans les frais de tranſport, il n'eſt pas douteux que l'Etat ne doive reculer, le plus qu'il ſera poſſible, les limites de cette navigation, en augmentant la profondeur des eaux par les rétréciſſemens preſcrits dans la Ire. ſection.

Mais, dans ces opérations, on ne doit pas perdre de vue (445) que la navigation à la voile exige une certaine largeur de la part des rivières : d'où l'on doit conclure qu'une pareille tentative ſeroit inutile & déplacée ſur un grand nombre de rivières d'un ordre inférieur, dont le volume d'eau eſt peu conſidérable, & auxquelles on ne pourroit procurer la profondeur requiſe par la navigation à la voile, ſans retrécir le lit au-delà des bornes.

Une autre-obſervation vient à l'appui de ce que nous diſons. Nous avons vu (496) qu'il falloit établir des communications par eau entre les communes qu'on pourroit regarder comme des centres d'un commerce étendu. La plupart des grandes communes ont cet avantage. Or, elles ſont ordinairement ſituées ſur les rivières navigables dans la partie inférieure de leur cours. Par conſéquent, l'intérêt du commerce exige que ſur ces rivières, on pouſſe la navigation à la voile le plus loin poſſible (506 1°.).

Dans quel cas l'État doit favoriſer le hallage des rivières, comme partie de la navigation intérieure.

508. Nous devons diſtinguer le hallage des grandes rivières dont nous venons de parler, du hallage des petites; & dans ce dernier, nous devons encore mettre une différence entre le hallage des rivières des pays de plaines, & celui des rivières des pays de montagnes.

Les grandes rivières ayant toujours un cours fort étendu (58), le hallage doit y être pouſſé le plus avant qu'il ſera poſſible; & dans le cas où la pente ſeroit trop forte, il eſt à propos d'employer (476) des canaux latéraux convenablement ſoutenus, & dont les chûtes ſoient rachetées par des écluſes. Cependant il n'en faudroit pas conclure qu'on doit porter ces canaux juſqu'à la ſource, car cette partie ſe trouvant ordinairement dans les

montagnes

montagnes (55), nous verrons bientôt que de pareilles entreprises y seroient de la plus grande inutilité : ainsi, à cet égard, le hallage doit se terminer à la dernière commune centrale de commerce, ou au canal qui fait communiquer cette rivière avec celle de la vallée voisine (504). Par où l'on voit que sur les grandes rivières, le hallage, tel que nous venons de le décrire, mérite d'être pris en considération par le gouvernement (506. 1°.).

Le hallage des petites rivières des pays de plaines mérite aussi une attention particulière de la part du Gouvernement, & cela, par les raisons suivantes. 1°. Ces rivières (160. 2°. & 175) ayant peu de pente, leur lit servira de canal. 2°. L'augmentation de profondeur s'y fera à peu de frais, par l'éloignement des ouvrages de rétrécissement (458 2°.). 3°. La plupart de ces rivières, se dégorgeant dans les rivières du premier ordre, en augmenteront le commerce & les avantages. 4°. Quand même elles se jetteroient directement dans la mer, le commerce des pays situés sur leurs cours, pourroit, par le cabotage, le long des côtes, & souvent même par des canaux particuliers, se lier avec celui des grandes rivières. 5°. Les pays de plaines sont ordinairement plus peuplés & ont plus de richesses territoriales & industrielles que ceux de montagnes ; par conséquent, il est toujours avantageux de leur donner un débouché. 6°. La facilité de l'exportation fait diminuer le prix des denrées & des marchandises. 7°. Le roulage fatigueroit moins les routes & entraîneroit moins de dépenses. 8°. Enfin on restitueroit beaucoup de bras & de chevaux à l'agriculture.

Le hallage des petites rivières des pays de montagnes n'a pas, à beaucoup près, les mêmes avantages, & ne doit pas obtenir la même protection de la part du Gouvernement. 1°. Leur pente excessive (160. 1°. & 175) exigeroit des canaux latéraux avec écluses (476). 2°. Outre que ces canaux seroient fort coûteux, ils seroient souvent exposés à être dégradés par des tor-

rens qui descendent des montagnes. 3°. Les pays de montagnes sont généralement peu peuplés, & les habitans, y étant rarement à leur aise, y ont peu de superflu. 4°. Par la même raison, il s'y fait peu de consommation de marchandises étrangères. 5°. Enfin le point central n'y jouit jamais d'un commerce assez étendu, pour former un terme de navigation (496).

D'où il est aisé de conclure (506 1°.) que le hallage, considéré relativement à la navigation intérieure de la France, ne peut avoir pour objet, d'une part, que les grandes rivières, prises depuis l'endroit où la navigation à la voile cesse, jusqu'aux canaux qui feront communiquer deux vallées voisines; & de l'autre, que les petites rivières des pays de plaines.

Venons à présent à la partie de la flottaison.

Quelles sont les rivières dont la flottaison doit être regardée comme faisant partie de la navigation intérieure.

509. Nous distinguerons encore la flottaison des rivières des pays de plaines, de celles des pays de montagnes.

La première tient au système général de la navigation intérieure, par les raisons suivantes. 1°. Elle fait la suite du hallage de ces rivières. 2°. Elle facilite le transport de divers objets, aux endroits de dépôts pour le chargement des bateaux. 3°. Elle procure sur-tout des bois de chauffage essentiellement nécessaires aux grandes communes inférieures. 4°. Quoique ces rivières aient peu de profondeur d'eau, elles en ont néanmoins assez généralement, sous une profondeur convenable, pour recevoir des bateaux fort plats qui sont très-utiles pour les transports. A ces raisons, nous pouvons ajouter les quatre dernières, relatives au hallage de ces mêmes rivières, & que nous avons détaillées au n°. précédent. Ainsi cette partie est un rameau de la navigation générale de l'intérieur, &, par conséquent, elle ne doit pas être étrangère au gouvernement.

La seconde mérite les regards de la Nation, lorsqu'elle peut procurer des bois de charpente, soit navale, soit civile; mais ce cas excepté, on ne voit pas à quoi elle seroit utile. En effet, nous l'avons déjà dit (508), ces pays sont peu peuplés, & les

habitans y ſont peu aiſés; rarement ils ont du ſuperflu : en procurant même un débouché par eau à ce ſuperflu, on provoque la deſtruction des forêts, pour faire des radeaux. Or, nous avons vu (146 & 152) les déſaſtres qui en réſulteroient.

Ainſi, dans le ſyſtême de la navigation intérieure, il ne doit y entrer que la flottaiſon des rivières en pays de plaines, & celle des rivières des pays de montagnes, lorſqu'on en peut tirer des bois de charpente civile ou navale (506. 1°.) ; ce cas excepté, elle ne doit pas fixer l'attention de la Nation.

510. Concluons donc de tout ce que nous venons de dire, que, pour opérer la navigation intérieure de la France, il faut: En quoi conſiſte réellement la navigation intérieure.

1°. Par des canaux de navigation joindre les principales rivières de l'Etat, ſoit entr'elles, ſoit avec les points centraux de commerce.

2°. Aſſurer la navigation à la voile de ces rivières à leur embouchure, & la pouſſer auſſi loin vers leur ſource, que peuvent le permettre leur pente & leur volume d'eau.

3°. Faciliter leur hallage, ſoit dans leur propre lit, quand elles ont peu de pente, ſoit par des canaux latéraux, lorſque cette pente eſt conſidérable, depuis le terme de la navigation à la voile, juſqu'aux canaux de communication entre deux vallées adjacentes.

4°. Pouſſer auſſi, le plus loin poſſible, le hallage & la flottaiſon de toutes les rivières des pays de plaines, ſoit qu'elles ſe jettent dans les grandes rivières, ſoit qu'elles ſe rendent directement à la mer.

5°. Enfin, effectuer, ou faciliter la flottaiſon des rivières des pays de montagnes, lorſqu'elles peuvent fournir des bois de charpente, ſoit civile, ſoit navale.

Il nous ſera aiſé, d'après ces principes, de fixer nos idées ſur la navigation intérieure, & de faire voir en quoi conſiſtent les ouvrages à exécuter. Pour cela, nous allons puiſer, dans le rapport que le citoyen Marragon a fait à la Convention natio-

nale, le 24 fructidor de l'an 3, les matériaux qui se rapportent à cet objet. Nous suppléerons à quelques omissions qu'il y a faites, par nos propres observations, & nous élaguerons de son ouvrage tout ce qui n'entre pas dans notre plan.

Nous posons, en principe, que la navigation dont il s'agit doit être entièrement intérieure, &, par conséquent, absolument indépendante de la navigation maritime; car il faut que, dans le cas d'une guerre sur mer, les diverses parties de l'Etat puissent communiquer entr'elles par eau.

Communication de Marseille avec Bordeaux & Bayonne.

511. La navigation, dans le Midi, doit se diriger de l'Est à l'Ouest: ses termes centraux seront Marseille à l'Est, Bordeaux & Bayonne à l'Ouest.

1°. De Marseille, on doit aboutir à l'étang de Berre, près de Marignanne, par le moyen d'un canal qui passeroit au Rove, où seroit placé le point de partage, & qui seroit alimenté par le canal à dériver de la rivière d'Arc à Langesse, décrété en notre faveur, le 21 mai 1791.

2°. De l'étang de Berre, près de Marignanne, on passeroit à Martigues, & on se rendroit au port de Bouc, par l'étang & par les canaux de Martigues.

3°. Du port de Bouc, on se rendroit au Rhône pris à Arles, par le moyen d'un canal navigable & alimenté par celui des Alpines, ci-devant de Boisgelin, dont nous avons déjà parlé au n. 452, & dont nous avons dressé les plans par ordre des ci-devant états de Provence.

4°. Du Rhône pris à Arles, on remonteroit le fleuve jusqu'à la pointe de l'isle de Camargue, & ensuite on descendroit le petit Rhône jusques vis-à-vis Saint-Gilles.

5°. De cet endroit, on se rendroit au canal de Saint-Gilles à Aigues-Mortes, par un canal particulier à construire, d'environ 1200 toises de longueur.

6°. De Saint-Gilles, on aboutira à Aigues-Mortes par le canal qui communique du premier de ces endroits au second,

& qui fait partie de celui projetté d'Aigues-Mortes à Beaucaire.

7°. D'Aigues-Mortes, on arrivera à Cette, en passant successivement par le canal de la Radelle, l'étang de Maugnio, le canal des Étangs & celui de la Peyrade.

8°. De Cette, par le canal du Midi, ci-devant de Languedoc, on aboutira à la Garonne prise à Toulouse.

9°. De Toulouse, on arrivera à Bordeaux, en suivant le courant de la Garonne.

Mais si, de Bordeaux, il falloit remonter cette rivière jusqu'à Toulouse, on éprouveroit les plus grands retards par la rapidité des eaux. C'est pour cette raison que (476), depuis l'endroit où la pente de la rivière commence à être trop forte pour le hallage jusqu'à Toulouse, il faut nécessairement exécuter un canal latéral dont les chûtes seront rachetées par des écluses.

10°. Enfin, pour aboutir à Bayonne, arrivé à Aiguillon, près de l'embouchure du Lot, on entreroit dans le canal projetté depuis cet endroit jusqu'au Midon, pris à Mont-de-Marsan; d'où, par la voie du Midon, qui seroit par-tout rendu hallable par les moyens indiqués aux n. 476 & 479 respectivement, on arriveroit à l'Adour, &, par cette dernière rivière, à Bayonne.

Par où l'on voit que, par cette route, tous les départemens du Midi pourroient facilement, & par la navigation à la voile, ou par le hallage, communiquer entr'eux.

Communication de Marseille: 1°. Avec la vallée du Rhin.

512. La vallée du Rhône & celle de la Saône & de ses affluens, combinées avec celle du Rhin, nous fournissent le moyen de faire communiquer directement Marseille avec tous les pays situés sur ce dernier fleuve, sur la Moselle, la Meuse & leurs affluens, & avec la Suisse & le Mont-Blanc.

1°. De Marseille à Arles, on suivroit la route tracée ci-dessus (511. 1°. 2°. & 3°.).

2°. D'Arles, on remonteroit le Rhône, à la voile (441), ou au hallage jusqu'à Beaucaire.

3°. De Tarascon à Avignon, on remonteroit le fleuve, au hallage exclusivement.

4°. D'Avignon à Lyon, on suivroit un canal latéral à exécuter, à cause de la grande rapidité du courant (476).

5°. A Lyon, on entreroit, du Rhône, dans la Saône qu'on rendroit hallable (479) par-tout où elle n'auroit pas assez de profondeur, & on la remonteroit jusqu'à l'embouchure du Doubs.

6°. On rendroit pareillement le Doubs hallable (476 & 479) & on le remonteroit jusqu'aux environs de Mont-Belliard.

7°. En cet endroit, on quitteroit le Doubs pour entrer dans le canal de jonction de cette rivière & de celle d'Ill, par Valdieu, canal projetté par le citoyen Bertrand, ancien inspecteur général des Ponts & Chaussées, & décrété sous la dénomination de *canal de l'Est*, par le moyen duquel on aboutiroit à la rivière d'Ill, & l'on entreroit dans la vallée du Rhin.

8°. On suivroit la rivière d'Ill, depuis l'issue du canal de l'Est jusqu'au-dessous de Strasbourg, où elle entre dans le Rhin. On auroit soin de la rendre hallable sur toute cette partie de son cours, par les moyens indiqués aux n. 476 & 479.

9°. Depuis l'embouchure de l'Ill, on suivroit le Rhin jusqu'à la fin de son cours, en ayant soin de lui substituer un canal latéral avec écluses (476), dans toute la partie où il y auroit trop de rapidité pour la remonte.

2°. Avec la vallée de la Moselle.

Pour établir la communication entre la vallée de la Saône & celle de la Moselle;

10°. On rendra (476 & 479) la Saône hallable, & on la remontera jusqu'à Jonville.

11°. En cet endroit, on entreroit dans le canal projetté de communication entre la Saône & la Moselle.

12°. En sortant de ce canal, on entreroit dans la Moselle, qu'on rendroit hallable par les moyens indiqués (476 & 479) jusqu'à son embouchure dans le Rhin à Coblentz, aux endroits où elle ne le seroit pas.

Pour établir la communication entre la vallée de la Saône & celle de la Meuse; 3°. Avec la vallée de la Meuse.

13°. Arrivé à Toul, on quittera la Moselle pour entrer dans le canal projetté de Toul à Pagny, & destiné à faire communiquer cette rivière avec la Meuse.

14°. A Pagny, on entrera dans la Meuse, qu'on suivra jusqu'à son embouchure dans le Rhin, & qu'on aura soin (476 & 479) de rendre hallable, par-tout où les localités l'exigeront.

Enfin, pour établir la communication entre Lyon & le lac de Genève; 4°. Avec la Suisse & le Mont-Blanc.

15°. On remontera le Rhône jusqu'à la hauteur de Seissel, par un canal latéral (476).

16°. A la hauteur de Seissel, on entrera dans le canal projetté depuis cette commune jusqu'à Versoix, où l'on trouve le lac, par le moyen duquel on communiquera avec la Suisse & le département du Mont-Blanc.

Ainsi, 1°. par le Rhône, la Saône & le Doux; 2°. par le Rhin, la Moselle & la Meuse; 3°. par quelques canaux intermédiaires, on fera communiquer, entr'eux, tous les départemens de l'Est & du Nord, depuis Marseille jusqu'à l'embouchure de l'Escaut.

513. Lions, par un canal, la vallée du Rhône à celle de la Loire, & nous établirons une communication entre Marseille & Nantes. En effet:

1°. De Marseille, on aboutira à Châlons-sur-Saône, par la route indiquée ci-dessus (512. 1°. & 5°.). Communication de Marseille avec Nantes.

2°. A Châlons, on entrera dans le canal en exercice, dit

canal du Centre, connu ci-devant ſous le nom de canal de Charolais, & l'on aboutira à la Loire, priſe à Digoin.

3°. De Digoin, on ſuivra la Loire juſqu'à Nantes & à Paimbœuf, en adouciſſant, par-tout où il ſera néceſſaire, ſon hallage, par les moyens indiqués (476 & 479).

Communication de Marſeille avec Paris & la vallée de la Seine.

514. Par la même voie & par les canaux de Briare & d'Orléans, Marſeille communiquera avec Paris, Rouen, & tous les pays ſitués ſur la Seine & ſur ſes affluens.

1°. On arrivera à Digoin par la route preſcrite ci-deſſus (513. 1°. & 2°.).

2°. De Digoin, par la Loire, ou par le canal latéral (476), on aboutira au canal de Briare.

3°. Par le canal de Briare on arrivera à la Seine.

4°. De ce dernier point, on ſe rendra à Paris, Rouen, &c.

Communication de Marſeille avec la vallée de la Somme.

515. C'eſt encore par la même route, que Marſeille communiquera avec la vallée de la Somme.

1°. Par la voie preſcrite au n. précédent, on arrivera à la rivière d'Oiſe.

2°. On remontera l'Oiſe juſqu'à Chauny.

3°. On paſſera de la vallée de la Seine, à celle de la Somme, par le canal en exercice de Chauny à Saint-Quentin.

4°. En ſortant de ce canal, on entrera dans la Somme, par laquelle on communiquera avec Péronne, Amiens, Abbeville, &c.

Communication de Marſeille avec la vallée de l'Eſcaut, la Belgique & la Hollande.

516. Enfin, en joignant, par un canal, la vallée de la Somme à celle de l'Eſcaut, Marſeille communiquera avec la Belgique & la Hollande.

1°. Par le n. 515. 1°. & 3°., on arrivera à la Somme.

2°. En finiſſant le canal commencé, du citoyen Laurent de Lyonne, on aboutira à l'Eſcaut à la hauteur de Cambrai.

3°. En perfectionnant la navigation de l'Eſcaut (476 & 479), on parviendra aux frontières de la Hollande.

517. L'on voit par-là quels ſont les moyens de faire com-

muniquer

muniquer Marseille, que nous devons regarder comme premier point central du commerce, avec les vallées de la Garonne, du Rhône, du Rhin, de la Loire, de la Seine & de la Somme. Mais ce n'est pas tout; il faut encore procurer le même avantage à Bordeaux, autre point central essentiel. Cette place pourroit, à la vérité, communiquer avec les vallées du Rhin, de la Somme, de la Seine & de la Loire, par le canal du Midi, & par le Rhône pris à la hauteur de Saint-Gilles (511. 5°. & 9°., 512. 2°. & 14°., 513 & 516.). Mais l'inspection de la carte fait voir qu'il y a des routes moins longues qui peuvent remplir cet objet, en vivifiant les pays intermédiaires. C'est de quoi nous allons nous occuper.

518. Pour établir une communication entre Bordeaux & la vallée de la Loire; Communication de Bordeaux avec la vallée de la Loire.

1°. On passera, de la Gironde, à la rivière de Seugne par le moyen d'un canal projetté par le citoyen Lallemand.

2°. On rendra hallable la Seugne par quelqu'un des moyens prescrits aux n. (476, 477 & 479), & l'on aboutira, par cette voie, à la Charente.

3°. De l'embouchure de la Seugne, on remontera la Charente jusqu'à Civrai, en ayant soin de la rendre hallable aux endroits où elle ne le sera pas (476, 477 & 479).

4°. A cette hauteur, on passera dans la rivière de Clain par le canal projetté de jonction de cette rivière avec la Charente, de Civrai à Vareilles.

5°. On rendra le Clain hallable (476, 477 & 479) depuis Vareilles, jusqu'à son embouchure, &, en le descendant, on arrivera à la Loire, à Montmozeau, d'où l'on pourra communiquer avec tous les pays situés sur son cours, depuis Paimbœuf jusqu'à Digoin.

On doit remarquer en passant, qu'arrivé à la Charente (1°. & 2°.), on pourra, par cette rivière, communiquer avec Rochefort.

Communication de Bordeaux avec la vallée de la Seine.

519. Bordeaux communiquera avec la vallée de la Seine par la route fuivante :

1°. On arrivera, de Bordeaux, à la Loire prife à Montmozeau, par la voie tracée au n. précédent.

2°. De Montmozeau, on remontera la Loire jufqu'à la hauteur du canal d'Orléans.

3°. Par le canal d'Orléans & par le Loing, on paffera dans la Seine.

Communication de Bordeaux avec la vallée de la Somme.

520. Par la route qui fuit, Bordeaux communiquera avec la vallée de la Somme.

1°. On aboutira à la Seine par la route prefcrite au n. précédent.

2°. On defcendra la Seine jufqu'à l'embouchure de l'Oife.

3°. De l'embouchure de l'Oife, on arrivera à la Somme par la route prefcrite ci-deffus (515. 2°., 3°. & 4°.)

521. Il s'agit à préfent de faire communiquer Bordeaux avec la vallée du Rhin. Sur cela nous devons obferver que le Rhin, depuis fon entrée fur les terres de la France jufqu'à fes embouchures, ayant une très-vafte étendue, doit être confidéré, comme renfermant quatre vallées particulières fur fa gauche, favoir : 1°. celle du Haut-Rhin ; 2°. celle de la Mofelle ; 3°. celle de la Meufe ; 4°. enfin celle de l'Efcaut. Nous ne propoferons donc pas, pour aboutir de la Gironde à l'Efcaut, d'arriver préalablement au Haut-Rhin ; mais, à l'imitation de ce que nous avons dit à ce fujet (512), nous tracerons des routes partielles pour l'Efcaut, la Meufe, la Mofelle & le Haut-Rhin.

Communication de Bordeaux avec la vallée de l'Efcaut.

522. De Bordeaux, à la vallée de l'Efcaut, la route fera telle qu'il fuit.

1°. On arrivera, à la Somme, par la voie prefcrite au n. 520.

2°. Par la route tracée au n. 516, on aboutira jufqu'à l'embouchure de l'Efcaut.

523. Bordeaux communiquera avec la vallée de la Meuſe, par la voie qui ſuit.

Communication de Bordeaux avec la vallée de la Meuſe.

1°. On arrivera à l'embouchure de l'Oiſe, par la route preſcrite au n. 520. 1°. & 2°.

2°. On remontera l'Oiſe juſqu'à l'embouchure de l'Aiſne.

3°. On rendra l'Aiſne hallable (476, 477 & 479), & on la remontera juſqu'aux environs d'Attigny.

4°. En cet endroit, on entrera dans le canal projetté de communication entre l'Aiſne & la Meuſe, priſe aux environs de Stenay.

5°. A l'iſſue de ce canal, on entrera dans la Meuſe par le moyen de laquelle on pourra pénétrer juſqu'en Hollande.

524. Avant de parler de la route de Bordeaux à la Moſelle, nous allons tracer celle de la même commune à la vallée du Haut-Rhin. Pour y arriver:

Communication de Bordeaux avec la vallée du Haut-Rhin.

1°. Par la route rétrograde de celle expoſée au n. 511. 4°. & 9°., on aboutira au Rhône, pris à la pointe de l'iſle de Camargue.

2°. De-là, par la voie décrite au n. 512. 2°. & 9°., on arrivera au Rhin, qu'on pourra parcourir dans tout ſon cours, en aval.

525. De Bordeaux à la Moſelle, on aura deux routes à choiſir.

Communication de Bordeaux avec la vallée de la Moſelle.

Première route. 1°. Par la voie décrite au n. précédent, on remontera juſqu'à l'embouchure du Doubs.

2°. Depuis cet endroit, on ſuivra la route décrite ci-deſſus (512. 10°. & 12°.).

Seconde route. 1°. Par la voie expoſée au n. 523. 1°. & 4°., on aboutira à la Meuſe, près de Stenay.

2°. En cet endroit, on remontera la Meuſe juſqu'à Pagny.

3°. De Pagny, par l'inverſe de la route décrite au n. 512. 13°. & 14°., on arrivera à la Moſelle, qu'on pourra deſcendre juſqu'au Rhin.

526. Enfin, de Bordeaux au lac de Genève, on ſuivra la route que nous allons décrire.

Communication de Bordeaux avec le lac de Genève.

1°. On arrivera au Rhône, pris à la pointe de l'isle de Camargue, d'après ce que nous avons dit au n. 524. 1°.

2°. De cet endroit, on arrivera à Lyon, par la route exposée au n. 512. 2°. & 4°.

3°. De Lyon, on aboutira au lac de Genève, par la voie décrite au n. 512. 15°. & 16°.

Ces communications remplissent l'objet de la navigation intérieure.

527. Telle est, & telle nous paroît devoir être la navigation intérieure de la France, prise dans sa véritable acception. Elle doit nécessairement former une ligne non interrompue, qui embrasse tout le pourtour de l'Etat, & qui circule, par des canaux, soit naturels, soit artificiels, autour de la grande masse de montagnes de la ci-devant Auvergne, que la nature a placées au centre de notre territoire. Dans l'espace compris par cette ligne, on voit la Loire & la Seine former deux diagonales, & porter, soit directement & par elles-mêmes, soit indirectement & par leurs affluens, un commerce considérable aux principales villes de la République.

On voit aussi que, par ce tracé, ces mêmes villes peuvent communiquer, sans faire de bien grands détours, avec les places les plus reculées. Prenons pour exemple Paris.

1°. Elle communiquera facilement avec l'Escaut (515. 2°. & 3., & 516. 2° & 3°.).

2°. Elle communiquera avec la Meuse (523. 2°. & 5°.).

3°. Elle communiquera avec la Moselle, par la 2e. route du n. 525.

4°. Elle communique déjà avec la Loire, par le Loing & les canaux de Briare & d'Orléans.

5°. Elle communique aussi avec le Rhône, par le Loing, les deux canaux que nous venons de citer, la Loire, le canal du Centre & la Saône.

6°. Elle communiquera avec le Haut-Rhin, par la Saône, le Doubs, le canal de l'Est & l'Ill, ou, si l'on veut, par la

Meuse, le canal de Toul, la Moselle, le canal de Jonvelle, la Saône, le Doubs, le canal de l'Est & l'Ill.

7°. Elle communiquera avec Marseille par la route ci-dessus (5°.) & par l'inverse de celle décrite au n. 512. 2°. & 4°.

8°. Elle communiquera avec le lac de Genève, par la même route ci-dessus (5°. & par l'inverse de celle tracée au n. 512. 15°. & 16°.

9°. Elle communiquera avec Bordeaux, par l'inverse de la route du n. 519.

10°. Enfin elle communiquera avec Bayonne, par la voie de Bordeaux, & depuis cette ville, par la Garonne & par la route décrite au n. 511. 10°.

Il est facile de démontrer, d'une manière semblable, qu'une pareille communication aura aussi lieu pour toutes les villes qui seront placées, soit sur la ligne de circonscription, soit sur les deux diagonales, soit enfin sur les affluens hallables qui y aboutissent.

528. La navigation intérieure, telle que nous venons de la décrire, est réellement un projet de la nature de celui mentionné au n. 506. 1°.; car il est visible qu'il intéresse la généralité de l'Etat. A la vérité, les trajets seront plus longs que par terre; mais on doit savoir qu'un canal, soit naturel, soit artificiel, n'est pas un chemin; que, dans le premier cas, la nature en a fixé la route, & que, dans le second cas, on est assujetti aux localités qu'on ne peut pas changer, & à la loi impérieuse du niveau, qui n'admet pas de modification. D'ailleurs, quelle que soit l'augmentation du trajet, on en est toujours bien amplement dédommagé par la facilité des transports. Car quand même un cheval, par le hallage, ne traîneroit que le décuple du poids qu'il peut voiturer par terre, on sent qu'il y auroit encore beaucoup à gagner. Ajoutons à cela qu'il en résulteroit toujours, en outre, les avantages mentionnés au n. 508.

Quant aux embranchemens à effectuer par des rivières qui communiqueroient immédiatement avec les lignes principales de la navigation, ou qu'on y joindra par le moyen de canaux particuliers & qu'on aura convenablement disposés au hallage, nous pouvons dire que ces sortes de projets, ne regardant pas la généralité, ne peuvent fixer l'attention du Gouvernement que dans les cas mentionnés au n. 506. 2°., 3°. & 4°.

Ouvrages à exécuter pour la navigation intérieure.

529. L'on voit, par tout ce que nous venons de dire, que la plupart des rivières que nous avons indiquées, comme devant entrer dans le systême de la navigation intérieure, ont besoin d'être modifiées sur une partie de leur cours & préparées au hallage de remonte, soit par des rétrécissemens (479), soit par des déversoirs (477), soit enfin par des canaux latéraux (476). Dans ce dernier cas, les canaux, devant être souvent alimentés par des eaux presqu'habituellement chargées de limon, ont besoin d'être construits avec des précautions particulières, pour éviter les emcombremens des retenues & des sacs des écluses. D'autre part, on pourra mettre à profit les chûtes au droit des écluses, pour la construction de diverses machines qui favoriseront la partie industrielle. Enfin, lorsque les rivières, d'où on dérivera ces canaux, seront considérables, comme le Rhône, la Loire & la Garonne, on pourra aussi, très-avantageusement dans certains cas, réunir le hallage des canaux avec l'arrosage. Au surplus, ce sujet est aussi vaste qu'intéressant: nous ne pouvons ici que laisser entrevoir les difficultés & les avantages: mais nous nous réservons à traiter la chose à fond dans un ouvrage particulier sur les canaux de navigation.

Canaux de communication entre deux vallées.

530. L'on voit aussi que ce projet de navigation intérieure, exige un grand nombre de canaux destinés à faire communiquer les rivières, les unes avec les autres. Parmi ces canaux, il est possible qu'il s'en trouve quelques-uns qui puissent être alimentés par l'une des deux rivières à joindre, en tirant, d'une certaine hauteur, un canal de dérivation. La chose aura lieu,

dans le cas ou l'une des deux rivières à joindre auroit beaucoup de pente & l'éminence intermédiaire peu de hauteur. Mais, le plus souvent, ces canaux ne peuvent se fournir que d'eau de pluie : dans ce cas, il faut avoir recours aux réservoirs, tels que celui de Saint-Ferréol, qui alimente le canal du Midi. Comme ce sujet n'a jamais été traité, quoiqu'infiniment essentiel, & qu'il est la base de notre projet d'arrosement pour les vallées de l'Arc, Marignanne & Marseille, dans le département des Bouches-du-Rhône, nous le développerons dans le traité que nous publierons bientôt sur les canaux d'arrosage.

Réflexions sur les canaux souterreins.

531. Nous ne connoissons pas assez les localités, pour pouvoir dire si certains de ces canaux exigeront d'être pratiqués dans des percemens souterreins, comme celui de jonction de la Somme & de l'Escaut, ci-devant connu sous le nom de *Canal de Picardie;* mais, dans tous les cas, nous pensons qu'on doit éviter ces souterreins autant qu'il sera possible, & qu'on ne doit les employer que lorsque les localités le commandent impérieusement : car on ne peut jamais savoir ce qu'on rencontrera dans le sein d'une montagne ; & si, malheureusement, après avoir déjà fait des dépenses considérables, on trouve, sur ses pas, un gouffre, ou une source abondante, on seroit inévitablement obligé d'abandonner les ouvrages, & de prendre une autre route. Aussi l'expérience prouve-t-elle que ces sortes de travaux sont toujours sujets à beaucoup d'inconvéniens, & que le succès en est ordinairement fort précaire.

Réflexions sur le canal ci-devant de Picardie.

532. Puisque nous en sommes sur les canaux souterreins, il ne sera pas hors de propos de dire un mot sur le percement souterrein du canal ci-devant de Picardie. On sait que ce percement devoit avoir environ 7000 toises de longueur, & qu'il est déjà considérablement avancé : on sait aussi qu'il a été fort improuvé par des personnes infiniment recommandables par la profondeur de leurs lumières, & que leur improbation est particulièrement fondée sur le peu de largeur du canal, & sur la

grande résistance qu'éprouveront les bateaux, de la part d'un fluide qui, dans ce cas, doit être regardé comme extrêmement défini, par le peu d'espace qui restera entre les parois du canal & le corps des bateaux.

Nous ne pouvons pas nous dissimuler que ces raisons ne soient véritablement fondées en principes. Cependant, examinons les choses de près. Suivant les expériences sur les résistances des fluides, faites par les citoyens Bossut, d'Alembert & Condorcet, la résistance d'un fluide défini n'est que double de celle d'un fluide indéfini. Par conséquent, dans le canal souterrein dont nous parlons, le hallage exigera deux fois plus de force, ou deux fois plus de tems, que si cette partie du canal avoit été construite, à ciel ouvert, avec de plus grandes dimensions transversales. Or, si on l'avoit construit à ciel ouvert, dans le cas ou la chose auroit été possible, elle eût pu avoir, & même probablement elle auroit eu une longueur au moins deux fois plus considérable. Donc, alors, il y auroit eu compensation.

Qu'on regarde donc cette partie du canal, comme si elle étoit à ciel ouvert, d'une longueur double & avec de plus grandes dimensions. Dans ce cas, on feroit deux fois plus de tems à la parcourir. Mais on sait que, sur un aussi petit intervalle, le tems perdu, par l'excès de résistance, ou par la duplication de la longueur, ne sera tout au plus que de quelques heures. Or, dans un ouvrage de cette nature, la chose n'en vaut pas assez la peine pour s'y arrêter.

Ainsi nous pensons que, sans s'attacher à ces difficultés, il ne pourroit être que très-avantageux, tant à la prospérité publique, qu'aux intéressés à l'entreprise, que le percement souterrein fût fini & le canal de jonction perfectionné dans toute son étendue.

Du reste, ce que nous disons à ce sujet, n'est point dicté par un esprit de contradiction : nous sommes pénétrés d'estime pour les personnes qui se sont élevées contre ce souterrein, & d'ailleurs,

d'ailleurs, nous adhérons à leurs principes. Mais nous croyons que l'on peut envisager les choses sur les rapports que nous venons de présenter, & que cette manière de voir doit naturellement lever toutes les difficultés qu'on peut proposer à cet égard.

533. Le projet de la navigation intérieure de la France est, comme l'on voit, de la plus haute importance, & si jamais il étoit exécuté, on sent qu'il rendroit cet Etat un des plus florissans qu'il y ait sur la surface du globe. Mais ce n'est pas l'ouvrage d'un jour, ni même d'une génération. Cependant il seroit digne de la sagesse du Gouvernement de prendre de loin toutes les mesures & de préparer tous les moyens qui peuvent tôt ou tard contribuer à son exécution. Ainsi, il seroit à desirer que le conseil des ponts & chaussées fût chargé de l'examiner mûrement, & d'en arrêter la route & toutes les parties; qu'ensuite de cette décision, les ingénieurs des départemens respectifs eussent ordre, chacun dans son arrondissement, d'en lever les plans sur la même échelle, & d'en dresser les devis, d'après le plan général arrêté, & que tous ces plans & devis partiels fussent envoyés à la Commission des travaux publics, pour rédiger un plan & un devis général, & faire le relevé de tous les frais qu'une pareille entreprise exigeroit.

Précautions à prendre pour effectuer le projet de la navigation intérieure.

Ce seroit d'après tous ces préliminaires, qu'on pourroit statuer, tant sur l'ordre à suivre dans l'exécution, que sur les fonds annuels qu'on pourroit y employer, & sur les moyens de se les procurer.

SECTION V.

De la Navigation à la voile par la Seine jusqu'à Paris.

La navigation de la Seine à la voile, souvent proposée.

534. DEPUIS des siècles, on agite la question de savoir s'il ne seroit pas possible de faire remonter la Seine aux vaisseaux qui arrivent à Rouen, & d'établir un port à Paris. On a fait, à ce sujet, diverses vérifications; on a dressé divers mémoires, & en dernière analyse, on s'est borné à parcourir le lit de la rivière, & à écrire sans donner suite à aucun projet. Nous avons vu dernièrement un lougre aborder au pont de la Révolution : ce navire a ranimé les espérances presqu'éteintes de la navigation dont nous parlons; mais il ne tiroit que cinq pieds d'eau, & certes, ce seroit bien peu de chose pour mettre Paris à portée de faire le même commerce que Rouen.

Dans l'idée de faciliter cette navigation, on a proposé de redresser, par des canaux, le lit sinueux de la rivière. Mais ces redressemens, en augmentant la pente, auroient réellement diminué la profondeur des eaux : d'ailleurs, nous verrons qu'ils entraîneroient les plus grands inconvéniens.

D'autres enfin, en divers tems, ont proposé différens projets de canaux, dont l'objet principal étoit, ou de rendre la navigation de la Seine plus aisée, ou d'augmenter les communications de Paris. Parmi ces derniers, on distingue sur-tout celui du citoyen Lemoine, ayant pour but de faire communiquer cette rivière avec l'Océan pris à Dieppe.

Dans cette section, nous allons donner nos idées sur la manière que nous croyons la plus simple, non-seulement pour

faire arriver à Paris les vaiſſeaux qui s'arrêtent à Rouen, mais encore pour procurer à la Seine la plus grande navigation dont elle eſt ſuſceptible.

La Seine a la pente convenable, mais trop peu de profondeur d'eau pour la navigation à la voile.

535. D'après ce que nous avons dit (441 & 442), toute rivière qui a la profondeur d'eau convenable, & qui ne charie que du ſable ou du limon, ou qui chariant du gravier, n'a pas au-delà de 3 pouces & demi de pente ſur 100 toiſes de longueur, eſt navigable à la voile. Or, de Rouen à Paris, & même fort au-deſſus, la Seine ne charie point de gravier; & d'ailleurs les nivellemens prouvent que ſa pente, loin d'être au-delà de 3 pouces & demi ſur 100 toiſes, n'eſt pas même de 2 pouces. Ainſi la pente eſt telle que l'exige la navigation à la voile.

Quant à la profondeur des eaux de cette rivière, on doit remarquer: 1°. qu'à ſon embouchure, il y a des barres formées par les dépôts, qui ne permettent le paſſage qu'à des navires de moyenne grandeur, & tels qu'ils ne prennent pas au-delà de 9 pieds d'eau, ainſi qu'on en peut juger par les vaiſſeaux qui arrivent à Rouen; 2°. que dans la partie reſtante de ſon cours, la profondeur des eaux y eſt très-inégale; qu'il y a un grand nombre d'endroits où cette profondeur, dans les baſſes eaux, eſt de 12, 15, & même 18 pieds, & qu'il y en a d'autres où elle n'eſt que de 4 à 5 pieds.

Par conſéquent, la navigation de la Seine, pour être perfectionnée, exigeroit que la moindre profondeur, dans le tems des baſſes eaux, fût de 12 pieds ou environ. On peut déjà voir, par ce qui précède, qu'il y a des moyens de forcer la rivière à prendre elle-même cette profondeur en amont de ſon embouchure. Mais dans cette dernière partie, la choſe eſt impoſſible (270); & pour y remédier, il faut néceſſairement recourir à un canal latéral (451). Comme nous ſavons que des ingénieurs très-inſtruits s'en occupent, nous n'en dirons pas davantage. Nous nous bornerons à la navigation en amont de l'embouchure juſqu'à Paris.

Les sinuosités ne feroient pas un obstacle à la navigation à la voile.

536. Nous avons dit (446) que la navigation à la voile exigeoit que les sinuosités du lit de la rivière ne fussent pas trop dures. Or, si l'on jette les yeux sur le cours de la Seine, on verra que son lit, excessivement tortueux, a précisément ce défaut, qui est un obstacle à la navigation. Cependant, comme il est très-rare que le vent soit tout-à-fait contraire, & qu'il y a ordinairement plus ou moins de dérive, si l'on pouvoit se procurer par-tout la profondeur d'eau nécessaire, ces sinuosités ne feroient point un obstacle absolu. Nous ajouterons même, qu'à raison de la multiplicité de ces sinuosités, si le vent étoit tout-à-fait contraire, ce ne pourroit être que sur un très-court espace; auquel cas le pis seroit de se faire haller ou remorquer sur cet intervalle.

On peut lever l'obstacle opposé par les isles.

537. Un autre obstacle, à la navigation de la Seine, est cette multitude d'isles qui sont répandues, dans son lit, tout le long de son cours. L'expérience fait voir que ces isles gênent même le hallage. Cependant cet obstacle seroit aisé à détruire, ainsi que nous l'avons déjà dit (454), si l'on pouvoit obtenir une plus grande profondeur d'eau.

On peut aussi lever celui opposé par les ponts.

538. Il y a aussi, sur le cours de la rivière, divers ponts dont les arches formeroient un obstacle au passage des navires mâtés. Mais cet obstacle seroit aisé à lever (463) si l'on avoit profondeur d'eau.

Le défaut de profondeur d'eau, est la seule difficulté.

539. Ainsi, d'après ce que nous venons de dire (535 & 538), on voit que la Seine est parfaitement susceptible de la navigation à la voile; que tous les obstacles mentionnés dans les 3 derniers n.. peuvent facilement être levés ou modifiés; & qu'il n'y a réellement que le défaut de profondeur d'eau, en divers endroits, qui empêche, dans l'état actuel des choses, que les vaisseaux qui abordent à Rouen ne remontent jusqu'à Paris, ainsi que l'exigeroit l'importance de cette vaste cité & le bien général de l'Etat.

540. Cette difficulté a été parfaitement ſentie dans tous les tems; auſſi, preſque tous les anciens projets avoient-ils, pour premier objet, d'approfondir le lit de la rivière. Mais on n'a jamais imaginé de forcer le courant, par des moyens ſimples & économiques, à effectuer lui-même cet approfondiſſement; on penſoit ſeulement à l'opérer à main d'homme : or, dans ce cas, la choſe devenoit moralement impoſſible ; & c'eſt ſans doute la raiſon pour laquelle tous ces projets ont été abſolument perdus de vue.

541. Les ingénieurs, qui dernièrement ſont venus à bord du lougre, depuis le Hâvre juſqu'à Paris, ne paroiſſent pas avoir d'autre objet que de faire naviguer de pareils navires ſur la Seine, &, à cet effet, de débarraſſer ſon lit des divers obſtacles qui l'obſtruent en certains endroits, & que les nautonniers appellent des *nuiſances*; mais ils n'ont pas en vue d'y faire naviguer des vaiſſeaux qui prennent une plus grande profondeur d'eau, du moins à en juger par ce que nous en ont appris les papiers publics; car leur journal ni leur mémoire n'ont pas été imprimés, & ne ſont pas parvenus juſqu'à nous. Il eſt certain que l'exécution de leur projet ſeroit une amélioration réelle dans la navigation de la Seine ; qu'on pourroit alors, de Paris, faire un commerce de cabotage avec la côte, & même avec des iſles à une certaine diſtance du continent, & qu'on ne ſeroit plus dans le cas, pour une infinité d'objets, de faire des verſemens à Rouen. Ainſi, on ne peut qu'applaudir à leur zèle pour la proſpérité publique. Mais au fond, peut-on croire qu'un négociant à Paris, à qui la fortune permettra de faire des ſpéculations importantes ſur les productions des Indes, ſoit orientales, ſoit occidentales, confiera des chargemens précieux & de la plus grande valeur, à un navire auſſi frêle qu'un lougre? On ſent bien que la prudence s'y oppoſe. Par conſéquent un pareil ſyſtême de navigation ne ſatisfait qu'à demi à celui qu'on doit avoir en vue.

Projet propoſé par les ingénieurs qui ont remonté la Seine à bord du lougre le *Saumon*.

Inconvéniens du projet de redresser le lit de la Seine.

542. Nous ne voyons pas la véritable raison pour laquelle on a proposé d'anéantir les sinuosités, & de redresser le lit de la rivière par-tout où les localités le permettent. Est-ce pour abréger la route de Paris à Rouen, ou pour opérer la navigation à la voile ?

Dans la première hypothèse, il est certain que le trajet étant plus direct, seroit en même tems plus court. Il est certain aussi que, non-seulement à raison de ce raccourcissement, mais encore à raison de l'augmentation de vîtesse qu'on procureroit par ce moyen à la rivière (181 & 182), on arriveroit de Paris à Rouen, en beaucoup moins de tems que par le cours actuel. Mais c'est bien moins le tems d'arriver de Paris à Rouen qu'il faut abréger, que celui d'arriver de Rouen à Paris. Or, dans ce cas, on ne gagneroit absolument rien. Supposons, pour le prouver, que ces redressemens rendent le trajet quatre fois moindre. La rivière aura donc quatre fois plus de pente que dans son cours actuel. Elle acquerrera donc plus de vîtesse à proportion; elle opposera donc aussi plus de résistance dans la remonte. Mais la résistance est comme le quarré de la vîtesse, & le quarré de la vîtesse le long des plans inclinés est comme la pente. Donc la résistance sera comme la pente; & puisque cette pente est devenue quatre fois plus forte, la résistance suit la même proportion. Par conséquent, il faudra quatre fois plus de force pour la remonte ou quatre fois plus de tems. Donc, dans ce cas, les redressemens ne font rien gagner sur le tems de la remonte.

Dans la seconde hypothèse; en augmentant la pente, on augmente la vîtesse. Or, par la même raison, on diminue la profondeur des eaux, au lieu qu'il faudroit l'augmenter.

Mais il y a plus. Par les redressemens proposés, la force de la rivière augmentant à raison de la pente, si le fond est corrosible, le courant le creusera jusqu'à ce que le lit ait pris la forme assymptotique (179) qui lui convient. Or, pour

que le lit prenne cette nouvelle forme, la corrosion doit s'étendre à plusieurs lieues en amont du commencement des redressemens. Puis donc que ces redressemens doivent commencer en sortant de Paris, supposons qu'en cet endroit la corrosion y soit de 20 pieds de profondeur, ce qui est plus que possible. Le nouveau fond ne devant coïncider avec l'ancien, qu'à une très-grande distance en amont, cette corrosion se propagera à cette même distance, en diminuant progressivement. Or, alors, il est visible que tous les ponts, les quais & les édifices qui seront placés sur la rivière, soit dans Paris, soit sur la grande partie de cet intervalle, seront ruinés par le courant, & qu'il en sera de même des ouvrages d'art placés sur les affluens.

Pour mieux s'en convaincre, soient ABCDEFGH (fig. 46), le cours actuel de la rivière en aval de Paris, la droite GM égale à la longueur du développement du lit, depuis G jusqu'en A, & GKL la ligne assymptotique qui représente la pente du fond sur cette partie. Si nous rectifions le lit de A en G, le fond qui, auparavant, étoit supérieur à la ligne de niveau GM, d'une quantité = LM, ne s'élèvera plus au-dessus de cette ligne qu'à la hauteur de AK. Menons KN parallèle à AM, la corrosion en A sera à-peu-près = LN : or, cette corrosion s'étendra en amont jusqu'à une très-grande distance. Fig. 46.

Au reste, nous disons que la corrosion en A sera *à-peu-près* = LM; car (181) la grossièreté des matières du fond y augmentera; ce qui (176) produira une augmentation de pente au point A; mais cette modification n'empêchera pas que LN ne soit toujours très-considérable.

Il n'y auroit qu'un seul moyen d'obvier à cet inconvénient. Ce seroit (216) de construire un radier à la tête des redressemens. Mais alors (213. 2°. & 3°.), il y auroit une cascade, & le radier deviendroit un déversoir qui exigeroit des écluses pour le rétablissement de la navigation.

Ainſi, il paroît que ce projet n'a pas été aſſez mûri.

Danger réſultant des petits canaux de redreſſement projettés.

543. Un projet beaucoup plus raiſonnable, & propoſé dans la concluſion générale du rapport fait au comité des travaux publics de la Convention nationale, par les citoyens Boſſut & David le Roi, chargés d'examiner les canaux projettés de navigation, entre l'Oiſe & la Seine, ſeroit de ne pratiquer à ces redreſſemens qu'un ſimple canal deſtiné au hallage. Cependant nous ne devons pas nous diſſimuler qu'il feroit auſſi ſuſceptible de quelques inconvéniens; car, ſi l'on ne prenoit pas les plus grandes précautions à l'entrée des redreſſemens, il pourroit fort bien arriver, ce qui eût lieu en 1711, au canal des Lônes ſur le Rhône, au-deſſous d'Arles (182), c'eſt-à-dire, que, dans une crue, la rivière ne s'y précipitât à raiſon de l'augmentation de pente qu'elle y trouveroit (105. 2°.). La choſe pourroit même avoir lieu malgré toutes les précautions qu'on pourroit prendre. Il ne faudroit pour cela qu'une crue extraordinaire qui permît à la rivière de franchir les ouvrages & d'entrer dans les canaux de redreſſement. Or, alors, il en réſulteroit infailliblement les déſaſtres dont nous venons de parler (542). Ainſi, avant de ſe livrer à ces redreſſemens par des canaux partiels, il ſera peut-être prudent de faire de nouvelles réflexions ſur les dangers auxquels on expoſe la Cité & ſur les moyens de les prévenir.

Canal projetté par le citoyen Lemoine.

544. Le projet de canal du citoyen Lemoine, tendant à faire communiquer la Seine avec l'Océan pris à Dieppe, a été très-ſagement diſcuté dans le rapport que nous avons cité (543), par les citoyens Boſſut & David le Roi, rapport qui juſtifie que ce projet eſt de la claſſe de ceux dont nous avons parlé (505. 2°. & 3°.). N'ayant donc pas pour objet la navigation de la Seine, nous n'en dirons rien de plus.

Venons à préſent aux moyens que nous avons à propoſer pour remplir l'objet de la navigation de la Seine.

Problême à la solution duquel se réduit la navigation de la Seine à la voile.

545. Cette rivière a une pente convenable pour la navigation à la voile. Mais elle n'a pas assez de profondeur d'eau en divers endroits, pour recevoir & amener jusqu'à Paris les vaisseaux qui s'arrêtent à Rouen (535). Tous les autres obstacles mentionnés aux n. 536 & 538, sont susceptibles d'être levés ou modifiés : il n'est question que de procurer par-tout à la rivière, la profondeur d'eau requise. C'est à ce seul point que tient la navigation dont il s'agit : or la question se réduit à celle-ci : *Forcer la rivière, par les moyens les plus simples & les plus économiques, à creuser son lit, & à prendre la profondeur d'eau nécessaire, pour que, dans le tems même des plus basses eaux, les vaisseaux qui arrivent à Rouen, puissent remonter à la voile jusqu'à Paris.* Nous allons voir que cette question se trouve résolue par les principes que nous avons établis dans le cours de cet ouvrage, & particulièrement, par ce que nous avons dit dans la section Ire. de cette partie, n. 439 & 464. Car telle est la fécondité des principes établis sur les véritables loix de la nature, qu'ils s'appliquent avec succès à la solution de tout ce qui y est relatif.

On doit réduire le lit de la rivière.

546. Nous avons vu, au n. 456, que lorsqu'une rivière avoit trop de largeur, il en falloit réduire le lit, & (416) que cette réduction devoit s'opérer, non par des ouvrages continus, mais seulement par des rétrécissemens partiels, à exécuter par intervalles. Or, la Seine n'a peu de profondeur, que parce qu'elle a trop de largeur (449). Donc son lit doit être réduit, & cette réduction ne doit s'opérer que par des rétrécissemens placés par intervalles.

Largeur à donner aux rétrécissemens.

547. Nous avons dit (457) que la largeur à donner à un rétrécissement étoit en raison inverse de la profondeur d'eau qu'on vouloit se procurer. Soient donc la largeur actuelle du lit de la rivière $= l$, la largeur cherchée d'un rétrécissement $= x$, la profondeur d'eau à se procurer, dans le tems des basses

eaux, au rétréciſſement $=a$. Puiſqu'à cette époque, dans l'état actuel, la profondeur de la rivière eſt d'environ 4 pieds & demi, nous aurons la proportion $a:\frac{9}{2}::l:x=\frac{9l}{2a}$.

Ainſi, ſuppoſons qu'à l'endroit à rétrécir, la largeur de la rivière ſoit de 80 toiſes, & qu'on veuille s'y procurer 12 pieds de profondeur d'eau, lors des baſſes eaux, on aura $l=80$, $a=12$ & $x=30$ toiſes.

Si à l'endroit dont il s'agit la rivière n'avoit que 60 toiſes, on auroit $x=22$ toiſes 3 pieds. Or, de Paris à Rouen, la largeur de la rivière, réunie en un ſeul lit, excède toujours 60 toiſes, & quelquefois même 80. Par conſéquent, on peut ſe procurer 12 pieds de profondeur d'eau, & avoir un rétréciſſement au-delà de 22 toiſes & demie de largeur; ce qui eſt plus que ſuffiſant pour la navigation à la voile.

Diſtance des rétréciſſemens.

548. L'intervalle d'un rétréciſſement à l'autre eſt très-aiſé à déterminer par la voie de l'expérience. On conſtruira le premier rétréciſſement en aval, d'après les dimenſions calculées, ainſi qu'on vient de voir (547); il forcera néceſſairement la rivière à corroder & à approfondir le fond (209 & 212), & (211) la corroſion s'étendra plus loin en amont qu'en aval. Lorſqu'il aura produit ſon effet, il ſera aiſé de juger à quelle diſtance en amont du premier rétréciſſement, il faudra établir le ſecond, pour propager la corroſion & la profondeur d'eau demandée.

Ce procédé a d'ailleurs un autre avantage : c'eſt que d'après l'effet produit par le premier rétréciſſement, on jugera, à coup sûr, de la poſſibilité du projet, & des dépenſes qu'il néceſſitera, tandis que, dans beaucoup de projets, on ne peut pas ſe procurer la même certitude. Par où l'on voit que, pour conſtater cette poſſibilité, tout ſe réduit à faire les avances des frais

d'un ſeul rétréciſſement, frais qui ne s'élèveront pas à 40,000 livres.

Au ſurplus, en comparant la pente de la Seine avec celle du Verdon à Caſtellanne, & en rapprochant la corroſion à produire ſur la première de ces rivières, avec celle produite ſur la ſeconde (212), nous pouvons aſſurer que les rétréciſſemens y ſeront fort éloignés, & que leur diſtance reſpective pourroit bien excéder 2000 toiſes. Conſéquemment, le nombre des rétréciſſemens diminuant, les frais d'exécution diminueroient auſſi à proportion.

549. Les ouvrages des rétréciſſemens ſeront dans le cas d'être franchis par les eaux dans les crues; car il faut qu'elles aient la liberté de paſſer. C'eſt pour cette raiſon que ces ouvrages ne ſeront qu'en bois, & terminés en glacis (459 & 460). Les ouvrages ne doivent pas gêner le paſſage des eaux.

550. Il y aura des cas où, par les vents contraires, on pourra avoir beſoin de ſe faire haller : par conſéquent les ouvrages auront la forme preſcrite au n. 461. Ils ſeront auſſi analogues au hallage.

551. Par-tout où la rivière ſe partagera en pluſieurs branches, on la réduira en une ſeule, ainſi qu'il a été dit (454); & dans le cas où cette opération pourroit préjudicier aux communes riveraines des branches barrées, on ſe conformera à ce que nous avons dit au n. 455. Précautions à prendre dans les barrages.

552. Dans l'exécution de ce projet, il ſera à propos de mettre les ponts & les autres édifices qui ſont ſur la rivière, à l'abri des effets de la corroſion qu'on veut produire : pour cela on effectuera ce qui a été dit au n. 462. Précautions à prendre pour ne pas nuire aux édifices ſur la rivière.

553. Comme les navires mâtés ne pourroient pas paſſer ſous les arches des ponts, on aura recours au moyen porté par le n. 463. Moyen d'éviter les ponts en naviguant à la voile.

554. Paris & ſes alentours exigent des précautions particulières, ſoit pour aſſurer les ouvrages d'art qui exiſtent ſur la Précautions à prendre pour Paris & ſes environs.

rivière, ſoit pour l'établiſſement d'un port qui ſoit à l'abri des dépôts, & qui n'ait pas l'inconvénient des gares.

Le pont de la Révolution paroît devoir être le terme de la navigation ſur la rivière : car il ne ſeroit guères poſſible d'introduire les navires dans la partie ſupérieure, ſoit par la difficulté de conſtruire des canaux latéraux au droit des ponts, ſoit ſur-tout par les dépenſes énormes que néceſſiteroient tous les édifices placés dans Paris ſur le lit de la Seine, pour en préſerver les fondemens, de la corroſion. En conſéquence, à l'iſſue du pont de la Révolution, il devroit y avoir un radier qui mît à couvert de l'action des eaux, tous les ouvrages d'art en amont (215).

Quant au port, il paroît que ſon emplacement naturel ſeroit un canal d'environ 25 toiſes de largeur, qui, partant de l'Arſenal, ou même de plus haut, paſſât par les marais des fauxbourgs Saint-Martin, Saint-Denis, &c., & vînt rejoindre la rivière aux environs de la barrière de la Conférence, à l'extrêmité des Champs-Éliſées. Ce canal, habituellement alimenté par la rivière, ne ſeroit aucunement ſujet aux encombremens, & offriroit, à portée de tous les quartiers de Paris, un port très-ſpacieux & beaucoup plus commode que s'il étoit placé dans le lit actuel en aval du pont de la Révolution.

On n'auroit pas à craindre que, dans les baſſes eaux, la rivière fût à ſec dans Paris ; car la ſuperficie des eaux y ſeroit toujours à la même hauteur (457). Elles y auroient ſeulement moins de vîteſſe, parce qu'elles y ſeroient moins volumineuſes.

Cas où le fond ſeroit incorroſible.

555. Dans le cas où le fond de la rivière ſeroit de nature à ne pouvoir pas être entamé par la corroſion, on aura recours au moyen indiqué au n. 545.

Voyons à préſent ſi le procédé que nous venons de preſcrire

ſatisfait à toutes les conditions de la queſtion propoſée au n. 545.

556. 1°. *On forcera la rivière à creuſer ſon lit :* la choſe eſt évidente : car, en reſſerrant le courant, on augmente ſa force (210-212, 219 & 220).

Le procédé preſcrit réſout le problême ſur la navigation de la Seine.

2°. *Elle creuſera ſon lit tout le long de ſon cours dans la partie où on le rétrécira.* Cela eſt encore évident, d'après ce que nous avons dit ci-devant (219 & 220).

3°. *Elle prendra la profondeur d'eau néceſſaire aux vaiſſeaux qui arrivent à Rouen.* Car (457 & 547) cette profondeur eſt relative à la largeur à donner aux rétréciſſemens comparée à celle du lit actuel.

4°. *Ces vaiſſeaux pourront alors remonter à la voile juſqu'à Paris.* Car ils auront la profondeur d'eau néceſſaire (547). La pente de la rivière eſt relative à la navigation à la voile (535). La largeur du lit aux rétréciſſemens ſera au-delà de 22 toiſes & demie (547), c'eſt-à-dire plus forte que celle des goulets d'entrée de pluſieurs ports.

5°. *Les moyens à employer ſeront les plus ſimples & les plus économiques poſſibles.* Car (459 & 460) les ouvrages ne ſeront qu'en bois, terminés en glacis, & conſtruits par intervalles fort éloignés (548).

Ainſi, cette conſtruction remplit toutes les conditions de la queſtion du n. 545.

557. Pour ne rien laiſſer à deſirer & raſſurer tous les eſprits ſur tous les accidens qu'on pourroit craindre, nous récapitulerons ici toutes les raiſons qui peuvent lever les doutes que ce ſyſtême de navigation pourroit faire naître.

Obſervations qui lèvent toutes les difficultés.

1°. *On n'a rien à craindre de la part du gonflement des eaux aux rétréciſſemens.* Nous l'avons démontré au n. 457.

2°. *La corrosion aura lieu nonobstant les sinuosités du lit de la rivière.* On en peut voir les preuves au n. 425.

3°. *Les crues des eaux auront constamment un passage libre.* C'est une conséquence de ce que nous avons dit au n. 459.

4°. *Les éperons ou digues de rétrécissement ne formeront pas des écueils dans le tems des hautes eaux.* Nous en avons encore donné le moyen au n. 459.

5°. *Les ouvrages ne seront point dégradés, quoique franchis par les hautes eaux.* On en a vu la raison au n. 460.

6°. *Les ponts & autres ouvrages d'art sur la rivière, ne seront pas dégradés par la corrosion.* Nous en avons donné les moyens au n. 462.

7°. *Le hâllage au besoin ne souffrira pas.* La forme des ouvrages prescrits au n. 461 le garantit.

8°. *Le barrage des branches ne nuira pas aux communes riveraines.* On le voit par les n. 455 & 551.

9°. *Le lit, quoiqu'incorrosible en certains endroits, pourra être rendu corrosible.* Cela est prouvé par les n. 422 & 555.

10°. *Les ponts ne seront pas un obstacle au passage des navires.* Nous en avons vu la raison aux n. 463 & 553.

11°. *Les édifices de Paris n'auront rien à craindre de la corrosion.* Nous en avons donné le moyen au n. 554.

12°. Enfin, *la Seine, dans Paris, aura toujours la même profondeur d'eau.* Nous l'avons vu au même n. 554.

On aura souvent plus de profondeur d'eau que n'en exigent les vaisseaux marchands.

558. Le tems des basses eaux de la rivière est fort circonscrit, & se réduit communément à deux ou trois mois dans le courant de l'année. C'est à cette époque que la profondeur d'eau, dans l'état actuel, est seulement de 4 pieds 6 pouces;

mais ce tems-là paſſé, la profondeur ordinaire eſt de 6 & 7 pieds. Par conſéquent, ſi les rétréciſſemens ſont tels, qu'à l'époque des plus baſſes eaux on ſe procure 12 pieds de profondeur d'eau, il eſt aiſé de ſentir, que, dans le tems des eaux moyennes, on en aura juſqu'à 14 & 15 pieds. Conſéquemment, dans certains cas, on pourroit, au beſoin, faire venir des frégates à Paris, ou du moins les y conſtruire, ainſi que des vaiſſeaux de ligne, qu'on armeroit enſuite ailleurs.

559. Si l'on regarde ce projet de navigation comme n'intéreſſant que Paris, conſidérée d'une manière iſolée, il tomberoit dans la claſſe de ceux mentionnés au n. 506. 2°. & 3°.; & pour lors l'exécution en feroit ſubordonnée à de ſimples calculs de finance. Mais Paris étant le ſiège du gouvernement, la choſe peut être enviſagée ſous d'autres rapports relatifs à la politique. Au ſurplus, notre objet étoit d'en prouver la poſſibilité morale & phyſique : nous croyons l'avoir rempli par l'expoſé que nous venons de faire. Nous laiſſons à qui de droit l'examen des raiſons d'état qui peuvent s'y rapporter.

Ce projet eſt de nature à intéreſſer l'Etat.

560. Les moyens que nous venons de preſcrire pour opérer la navigation à la voile ſur la Seine juſqu'à Paris, pourroient être facilement employés ultérieurement, tant ſur la même rivière, que ſur ſes affluens ſupérieurs & inférieurs : du moins on pourroit y ménager une navigation pour des tartanes & des allèges; mais ce projet eſt ſubordonné aux conſidérations relatives au n. 506. 2°. & 3°. Ainſi nous n'en dirons rien de plus.

On pourroit pouſſer la navigation à la voile au-delà de Paris.

561. Au ſurplus, nous devons prévenir nos lecteurs que nous n'avons d'autre objet que de donner nos idées ſur un projet dont chacun ſent les avantages. Nous les ſoumettons, ces idées, à la cenſure des perſonnes plus inſtruites que nous, ſoit ſur l'art, ſoit ſur les localités. Il eſt poſſible qu'un examen plus approfondi du cours de la rivière, préſente des difficultés

que nous n'avons pas prévues ; mais il eſt poſſible auſſi que ces difficultés ſoient levées, ſoit par les principes que nous avons établis, ſoit par des moyens que les circonſtances ou les lieux feront découvrir.

FIN.

TABLE
DES MATIÈRES
Contenues dans ce Volume.

DIVISION de l'ouvrage. n°. 1

PREMIERE PARTIE.

De la théorie des Torrens & des Rivières.

DIVISION de la première partie. n°. 2

SECTION I.

Notions préliminaires.

§. I.

Observations sur les Montagnes.

L'ÉTUDE des rivières exige la connoissance de la configuration des parties du globe. n°. 3
Abaissement du niveau des eaux de la mer d'environ 230 toises. 4 & 6
Discussion sur l'origine des montagnes. 7 & 10
Accroissemens de la surface des continens. 11
Degré de pente de ces accroissemens. 12
Dégradations des montagnes par les fondrières. 13
Cause des fondrières. 14
Quelles sont les limites des fondrières. 15 & 16
Toutes les montagnes sont en pente douce du côté du Nord. 17
Les ouvrages publics doivent être construits sur les faces qui regardent le Nord. 18
Utilité de ces observations pour la tactique. 19
Et pour faire connoître les projets aux Administrations. 20
Exception à la règle sur les limites des fondrières. 21

§. II.

De l'origine des Sources & des Rivières.

L'air & la chaleur sont les principaux agens de la formation des sources. 23
L'air est essentiellement nécessaire à la vie. 24

L'air enveloppe tout le globe. 25
L'air eſt compreſſible & élaſtique. 26
Poids d'une colonne d'air. 27
Donc l'air eſt un fluide peſant. 28
Poids d'un pied cube d'air à la ſurface de la terre. 29
La denſité de l'air décroît en s'élevant au-deſſus de la ſurface du globe. 30
Conſéquence qui en réſulte pour l'aſcenſion des corps légers. 31
La chaleur convertit l'eau en vapeurs. 32
L'eau s'évapore ſans mélange de parties hétérogènes. 33
L'action du ſoleil convertit l'eau en vapeurs. 34
Volume de l'eau convertie en vapeurs. 35
L'eau convertie en vapeurs s'élève dans l'athmoſphère. 36
La moindre chaleur ſuffit pour l'évaporation de l'eau. 37
L'action du vent produit auſſi l'évaporation de l'eau. 38
L'évaporation des eaux ſur la ſurface du globe forme les nuages & les pluies. 39
Quelle eſt la quantité d'eau pluviale qui tombe dans une année. 40
Quelle eſt l'évaporation annuelle. 41 & 42
L'évaporation annuelle ſuffit amplement pour fournir aux pluies. 43
Diviſion des eaux pluviales en diverſes claſſes. 44
Comment les eaux pluviales forment les ſources. 45
Preuve qui conſtate que les ſources proviennent des eaux pluviales. 46
Comment ſe forment les grandes ſources telles que celle de Vaucluſe. 48
Les ſources des pays de plaines ſe perdent ſouvent au-deſſous du niveau des eaux de la mer. 49
Concluſion de la diſcuſſion ſur l'origine des ſources. 51

§. III.

Obſervations générales ſur les Torrens & les Rivières.

Les maſſes de montagnes ſont ſillonnées de vallées de divers ordres. 53
Ces vallées ont été formées par les eaux pluviales. 54
Plus un pays eſt montueux, plus on y trouve de ſources. 55
La réunion des eaux des ſources forme les fleuves & les rivières. 56
Le volume d'eau des rivières augmente par les pluies, & diminue par la ſécheresſe. 57
Rapport des volumes d'eau de deux rivières. 58
Utilité de ce rapport dans le génie civil & militaire. 59
Le volume d'eau des rivières augmente ou diminue en s'éloignant, ou en s'approchant de leur ſource. 60
Les troubles des rivières indiquent une augmentation dans le volume de leurs eaux. 61
D'où proviennent les troubles des rivières. 62
Loi des crues des rivières par une pluie générale. 63
Conditions pour le *maximum* des crues. 64 & 67
Les crues ſeront plus fortes dans les pays de montagnes. 68
Elles ſeront moins fortes dans les pays de plaines. 69
Elles ſeront d'autant plus fortes que les montagnes ſeront moins boiſées & plus décharnées. 70
Dans ce cas les crues ſeront plus courtes. 71
Dans quel cas la crue n'eſt que partielle. 72
Conditions pour le *maximum* d'une crue partielle. 73
Les crues d'orage ſont plus fortes que les crues de pluies ordinaires. 74
Le volume & la durée de la crue augmenteront en s'éloignant de la ſource. 75
Au contraire, ils diminueront en s'en approchant. 76
La couleur des troubles fait connoître le pays d'où ils viennent. 77
L'écoulement des eaux ſuperficielles ne ceſſe pas avec la pluie. 79
Conſéquence qui en réſulte. 80
A quelle époque les troubles diminuent. 81
Loi des écoulemens ſecondaires. 82
A quelle époque s'établit l'équilibre entre le fond & l'action des eaux. 83
Différence entre les torrens & les rivières. 84
Conditions pour les torrens & pour les rivières. 85
Il y a un intervalle où le courant ſera un torrent-rivière. 86
Définition du torrent, de la rivière, & du torrent-rivière. 87
Définition du volume des eaux dans les

divers états des rivières. 89
Définition du lit majeur & du lit mineur. 90
Loi fondamentale sur l'écoulement des eaux. 91
Cas où le fond & les côtés du canal sont raboteux. 92
Cas où la forme du canal s'altérera par l'action des eaux. 93
Application au cours des rivières suivant la théorie. 94
Conséquences qui en résulteroient. 95 & 96
Cette application est inadmissible dans la pratique. 97
Impossibilité de découvrir la loi exacte du mouvement des eaux des torrens & des rivières. 99
Sur cela il faut se borner à une approximation. 100
Moyen de trouver cette approximation. 101
Comment on doit prendre la section d'une rivière. 102
En quel endroit la vîtesse d'une rivière arrivera à l'uniformité. 103
Principe fondamental sur la force des courans, & sur la résistance qui la contrarie. 104
Autres principes fondamentaux. 105

SECTION II.

Des Torrens.

§. I.

Des Torrens considérés sur les montagnes où ils se forment.

Conditions qu'exige la formation d'un torrent. 107
Conséquence qui en résulte. 108
En quel endroit le torrent commencera à se former. 109
Le fond du torrent s'approchera toujours plus de la verticale. 110
Les bords du torrent se talusseront insensiblement. 111
Les talus du torrent seront sillonnés par des torrens secondaires. 112
L'origine du torrent s'approchera continuellement du sommet de la montagne. 113
Le torrent peut diviser une montagne en plusieurs partis. 114
Origine des montagnes partielles. 115
Conjectures sur l'origine des détroits de Constantinople, des Dardanelles & de Gibraltar. 116
Les lacs traversés par des rivières s'anéantiront tôt ou tard. 117
Particularités des torrens qui descendent des montagnes où il ne reste plus de terre. 118 & 120
La nature des transports des torrens dépend de celle des terreins des montagnes. 121
Le lit d'un torrent sur le penchant d'une montagne est toujours sinueux. 122
Ces sinuosités détruisent la force des torrens. 123

§. II.

Des Torrens considérés au pied d'une montagne.

Deux cas à examiner. 124

PREMIER CAS.

Il y aura un intervalle entre le bas de la chûte du torrent & la rivière qui le reçoit. 125
Pente de cet intervalle. 126
La pente d'un torrent diminue au pied de la montagne. 127
Cette pente sera proportionnelle à la grossièreté des matériaux du fond. 128

Loi sur la longueur du cours de ce lit. 129
Conséquence qui en résulte. 130
Le lit s'abaissera au commencement d'une crue, & s'exhaussera à la fin. 131

DEUXIÈME CAS.

Quelle sera la pente du lit au bas de la montagne. 132
Conséquences qui en résultent. 133
Cas où le torrent se répandra sur les domaines adjacens. 134
Les dépôts peuvent être utilisés par le génie civil & par l'agriculture. 135
Comment on détermine la pente à donner au lit d'un torrent sur une chaussée. 136 & 137
La chaussée du lit augmentera ou diminuera de hauteur proportionnellement à sa longueur. 138
Donc on doit conduire les torrens aux rivières par la voie la plus courte. 139
Si le lit est trop large, le fond s'élévera. 140
Donc plus le lit sera étroit, plus la pente sera petite. 141
Et moins la chaussée sera élevée. 142
Importance des principes précédens pour les pays de montagnes. 143

§. III.

Des causes des Torrens & des effets qui en résultent.

La première cause de la formation des torrens est la destruction des bois des montagnes. 144
La deuxième cause est le défrichement des montagnes. 145
Le premier désastre qui en résulte est la ruine de nos forêts. 146
Le deuxième désastre est la perte des pâturages sur plusieurs montagnes. 147
Le troisième désastre est la ruine des domaines le long des rivières & de ceux au bas des montagnes. 148
Le quatrième désastre est le préjudice qu'éprouve la navigation des rivières. 149
Le cinquième désastre consiste dans les procès résultans de la division des rivières en plusieurs branches. 150
Le sixième désastre est l'obstruction de l'embouchure des fleuves. 151
Le septième désastre est la diminution des sources. 152

SECTION III.

Des Rivières.

DIVISION de cette section. 153

CHAPITRE I.

Des Rivières à fond de gravier.

§. I.

De la nature & de la pente du lit des Rivières à fond de gravier.

LE fond des vallées où les rivières ont établi leur lit, a été encombré par des pierres. 154
Les domaines riverains, de niveau avec le lit, ont été gagnés sur ce lit. 155
En creusant dans ces domaines, on trou-

vera le gravier. 156
Les encombremens qui forment le gravier tirent leur origine des montagnes adjacentes. 157
La quantité de gravier que la rivière reçoit, est proportionnelle à l'étendue & à la déclivité du pays qui le fournit. 158
La grossièreté du gravier est proportionnelle à la déclivité & à la proximité des montagnes. 159
Donc le gravier sera plus ou moins grossier, suivant la hauteur & la pente des montagnes. 160
Donc, s'il n'y a point de montagnes, il n'y aura point de gravier. *ibid.*
La grossièreté du gravier augmente ou diminue en s'approchant ou en s'éloignant de la source de la rivière. 161
Si les montagnes riveraines s'abaissent ou s'éloignent, la largeur du gravier augmentera. 162
Si les montagnes riveraines s'approchent ou s'élèvent, la largeur du gravier diminuera. 163
La largeur des terreins à gagner, est relative à la distance de la source. 164
Considérations sur le gravier & les galets, & l'usage qu'on en peut faire pour distinguer la rivière du torrent-rivière. 165
Origine des dépôts de gravier supérieurs au lit des rivières. 166
Pourquoi le lit des rivières s'abaisse, malgré les graviers affluens. 167
La force d'équilibre des courans est exprimée par le volume d'équilibre multiplié par la vîtesse moyenne. 169
Cette force est aussi représentée par le même volume multiplié par une fonction quelconque de la pente. 170
La résistance des matières du fond est proportionnelle à leur grossièreté. 171
Les matières du fond doivent se mettre en équilibre avec l'action des eaux. 172
Conséquence qui en résulte. 173
La grossièreté des matières du fond augmente avec la force de la rivière. 174
Et réciproquement. 175
Le volume d'eau étant constant, la pente augmentera ou diminuera avec la grossièreté des matières du fond. 176
La grossièreté des matières du fond étant constante, la pente suivra la raison inverse du volume d'eau. 177
Le fond du lit formera une courbe qui s'élevera en avançant vers la source. 178
La courbe du lit sera assymptotique. 179
Le volume d'eau étant constant, la grossièreté des matières du fond augmentera avec la pente. 180
Application de ce principe au redressement du lit des rivières. 181
Moyen de simplifier les frais de redressement du lit des rivières. 182
Le volume d'eau étant constant, la grossièreté des matières du fond diminuera avec la pente. 183
Application de ce principe aux déversoirs. 184
Un déversoir oblige le lit à s'exhausser en amont. 185
La grossièreté des matières du fond sera à son *minimum* près du déversoir. 186
Chaque déversoir produit au fond du lit une courbe assymptotique. 187
Combien l'usage des déversoirs est pernicieux. 188
Effets résultans de la démolition d'un déversoir. 189
La grossièreté des matières du fond étant constante, la pente diminuera lorsque le volume d'eau augmentera. 190
Donc en aval d'un confluent la pente de la rivière principale diminuera. 191
Les rétrécissemens du lit en diminuent la pente. 192
Si la grossièreté des matières du fond est constante, la pente augmentera quand le volume d'eau diminuera. 193
Conséquences qui en résultent. 194

§. II.

De l'action des eaux sur le fond en gravier; de la corrosion qui s'y exerce, & des moyens de la provoquer & de la modifier.

Les eaux superficielles éprouvent une accélération. 195
L'équilibre exige des gouffres. 196
Preuve tirée de l'expérience. 197
La profondeur des gouffres dépend de celle du courant & du degré de pente. 198
La distance des gouffres suit la raison inverse de la pente. 199
Variations de la grossièreté des matières d'un gouffre à l'autre. 200

Variations de la vîtesse des rivières d'un gouffre à l'autre. 201
En quels endroits les rivières sont guéables. 202
Instrumens pour mesurer la vîtesse des eaux. 203
Description & usage de la machine de Pitot. 204
Comment on doit prendre la pente d'une rivière. 205
La courbe assymptotique du fond sera dentelée par les gouffres. 206
Les gouffres disparoîtront pendant les crues. 207
Quelles sont les pierres qui ne seront pas entraînées par le courant. 208
Un rétrécissement devroit abaisser le lit jusqu'à la source. 209
Raisons pour lesquelles l'abaissement n'aura lieu que jusqu'à une certaine distance en amont. 210
La corrosion du fond occasionnée par un rétrécissement, s'étendra davantage en amont qu'en aval. 211
Preuves tirées de l'expérience. 212
Effets produits par un radier construit à un rétrécissement. 213
Preuve tirée de l'expérience. 214
Emploi des radiers pour préserver de la corrosion les ouvrages d'art en amont. 215
Utilité des radiers dans la construction des ponts. 216
Dans les rétrécissemens, la profondeur de la corrosion est en raison inverse de la largeur des rétrécissemens. 217
La corrosion s'opère sur-tout pendant les crues. 218
La corrosion du fond se propagera par des rétrécissemens consécutifs. 219
Donc les rétrécissemens par intervalles réduiront le lit des rivières. 220
Quels sont les élémens qui déterminent la largeur des rétrécissemens. 221

§. III.

Des variations des Rivières à fond de gravier, & de leur action sur les bords.

Les rivières tendent à suivre la ligne droite. 222
Si le lit est trop large, le courant se portera vers les bords. 223
Les Anciens donnoient toujours trop de largeur aux rivières. 224
Quelle est la nature des bords d'une rivière. 225
La corrosion d'une berge sera en raison inverse de l'angle d'obliquité du courant. 226
La corrosion d'une berge sera en raison directe de la force du courant, & en raison inverse de la tenacité des matières. 227
Conséquences qui en résultent. 228
La corrosion des bords formera une ligne courbe. 229.
La concavité de la courbe de corrosion, sera en raison inverse de la tenacité des matières. 230
Conséquences de cette proposition. 231
Le lit d'une rivière sera corrodé & abaissé au pied d'une digue oblique & incorrosible. 232
Donc une berge oblique & incorrosible attirera le courant. 233
Une digue oblique produira le même effet. 234
Raisons du proverbe des nautonniers : *les roches attirent les eaux.* 235
Les berges obliques & incorrosibles ne réfléchissent pas le courant. 236
Effet produit à l'extrémité d'une digue oblique. 237
Dans un lit trop large, une berge parallèle & incorrosible peut aussi attirer le courant. 238
Première cause de la division des rivières. La trop grande largeur du lit. 239
Deuxième cause de division. Les arbres, arbrisseaux, &c. chariés par le courant. 240
Troisième cause de division. Les dépôts qui se forment au bout d'une digue oblique. 241
Quatrième cause de division. Les grandes crues. 242
Cinquième cause de division. Les trop fortes sinuosités. 243
Unique moyen de prévenir la division des rivières. 244

CHAPITRE LI.

Des Rivières à fond de sable & de limon.

§. I.

De la nature & de la pente du lit des Rivières à fond de sable & de limon.

DANS les rivières à fond de sable & de limon, les lits majeur & mineur se confondent. 246
Distinction entre le lit *naturel* & le lit *factice*. 247
Les rivières à fond de sable ont moins de pente que celle à fond de gravier. 248
Et celles à fond de limon en ont moins que celles à fond de sable. 249
Uniformité de vîtesse dans les rivières à fond de sable & de limon. 250
A l'embouchure le fond ne sera qu'en limon. 251
Un fond de sable & de limon est moins variable qu'un fond de gravier. 252
Dans les crues la vîtesse est plus forte à l'embouchure qu'en amont. 253

§. II.

De l'action des eaux sur le fond en sable & limon.

Dans ces rivières il n'y aura point de gouffre d'équilibre. 254
La grossièreté des matières du fond étant constante, la pente diminuera quand le volume d eau augmentera. 255
Conséquences qui en résultent dans le cas des rétrécissemens. 256
Par des rétrécissemens partiels on forcera ces rivières à baisser leur lit. 257
La grossièreté des matières du fond étant constante, la pente augmentera quand le volume d'eau diminuera. 258
Conséquences qui en résultent. 259

§. III.

Des variations des Rivières à fond de sable & de limon, & de leur action sur les bords.

Si le lit s'exhausse inégalement par des dépôts, le courant se portera à l'endroit le plus bas. 260
Formation des isles dans le lit de ces rivières. 261
Ces isles sont nuisibles à la navigation. 262
Le courant est ordinairement au milieu du lit naturel. 263
Quelquefois il s'en écarte dans un lit factice. 264
Considérations sur la corrosion des berges. 265
Les causes de division sont les mêmes pour ces rivières & pour celles à fond de gravier. 266 & 269

§. IV.

De l'embouchure des Rivières dans la Mer.

A l'embouchure des rivières il se forme des barres dans l'Océan, & des isles dans la Méditerranée. 270
Les isles dans la Méditerranée prolongent le lit dans la Mer & augmentent le Continent. 271
L'embouchure dans la Méditerranée produit des plages dangereuses. 272

Lorsque le lit se prolonge dans la Mer, le fond en amont doit s'exhausser. 273
Dans ce cas, si les domaines riverains ne s'exhaussent pas, ils se convertiront en marais. 274
Les marais augmenteront à proportion que la Mer se retirera. 275
Moyen d'empêcher que les domaines riverains ne se convertissent en marais. 276

SECTION IV.

Des Torrens-Rivières.

LE gravier du torrent-rivière est plus grossier que celui de la rivière qui le reçoit. 278
Son volume d'eau est moindre que celui de la rivière qui le reçoit. 279
Donc le torrent-rivière aura plus de pente que la rivière qui le reçoit. 280
Réflexions sur les gouffres d'équilibre des torrens-rivières. *ibid.*
Réflexions sur l'exhaussement & l'abaissement de leur lit. 281
Si le lit est trop large, le torrent-rivière pourra l'abandonner. 282
Différence remarquable entre les rivières & les torrens-rivières. 283

SECTION V.

Des Confluens.

§. I.

Observations générales sur les Confluens.

LA solution du problême sur la direction de la résultante de deux courans qui se réunissent, est inadmissible dans la pratique. 285
Le courant le plus fort s'opposera plus ou moins à l'admission du plus foible. 286
Le courant le plus foible sera souvent obligé de s'enfler pour entrer dans le plus fort. 287
Dans ce cas, le courant le plus foible se divisera en plusieurs branches. 288
La section de deux courans réunis est moindre que la somme de leurs sections avant la réunion. 289

§. II.

Du confluent de deux Torrens.

Les variations au confluent de deux torrens sur le penchant d'une montagne seront peu considérables. 290
Les directions des torrens dans les plaines doivent concourir le plus possible. 291

§. III.

Du confluent d'un Torrent & d'une rivière, ou d'un Torrent-Rivière.

Le lit de la rivière sera rétréci par le torrent. 292
Les dépôts d'un torrent peuvent totalement barrer le lit d'une rivière. 293

Ce

Ce qui arrivera lorſque le lit majeur de la rivière ſera fort large. 294
La pente d'une rivière augmentera à l'iſſue du confluent d'un torrent. 295
Cas où le torrent ſe jettera dans un torrent-rivière. 296

§. IV.

Du Confluent d'une Rivière & d'un Torrent-Rivière.

Si la nature du torrent-rivière approche de celle du torrent, les effets ſont les mêmes qu'au confluent du torrent & de la rivière. 297
Obſervation particulière. *ibid.*

§. V.

Du Confluent de deux Rivières.

La pente diminue en aval du confluent de deux rivières. 298

§. VI.

Du Confluent de deux Torrens-Rivières.

Le confluent de deux torrens-rivières renferme quatre cas. 299
Ces cas ſe rapportent à quelqu'un des précédens. 300

DEUXIÈME PARTIE.

Des moyens d'empêcher les ravages des Torrens, des Rivières & des Torrens-Rivières.

SECTION I.

Des moyens d'empêcher la formation & les ravages des Torrens.

§. I.

Des moyens d'empêcher la formation des Torrens ſur les Montagnes.

EMPÊCHER la coupe des bois ſur les montagnes. 301
Mode à ſuivre pour les défrichemens ſur les montagnes. 302
Boiſer les montagnes en ſemant des glands ou des faînes. 303
Ou les gazonner. 304
Manière de détruire un torrent à ſon origine. 305
L'uſage des murs pour cet objet eſt défectueux & trop coûteux. 306
Cas où il eſt impoſſible de détruire un torrent. 307 & 308

§. II.

Des moyens d'empêcher les ravages des Torrens au bas des Montagnes.

Trois cas à examiner dans les torrens au bas des montagnes. 309
Le torrent se réduit de lui même dans le cas où son lit est en pleine terre. 310
Moyen de le réduire dans le cas où sa pente est la même que celle du terrein. 311
Moyen de le réduire dans le cas où il doit être conduit sur une chaussée. 312 & 313
On peut employer des palissades avec des buissons pour contenir le torrent. 314
Emploi des murailles pour le même objet. 315
Usage des radiers lorsqu'on emploie des murailles. 316

SECTION II.

Des moyens de contenir les Rivières & les Torrens-Rivières.

DIVISION de cette section. 317

CHAPITRE I.

Des Digues.

§. I.

Des Digues considérées par rapport à leur direction.

QUEL est l'objet des digues. 318
Inconvéniens des digues obliques à la direction du courant. 319 & 320
Les digues obliques sont essentielles pour établir des prises d'eau de canaux. 321
Insuffisance & inconvéniens des digues parallèles à la direction du courant. 322
Les digues perpendiculaires à la direction du courant, sont les seules qu'on puisse employer pour garantir les bords des rivières. 323
La digue perpendiculaire produira les dépôts en amont. 324
Elle produira aussi des dépôts en aval. 325
Erreur des Anciens au sujet de l'angle d'obliquité des digues. 327
Conséquence qu'on doit en tirer. 328
On doit construire un éperon à la tête de la digue perpendiculaire pour la mettre à couvert. 329
L'éperon empêchera le courant d'atteindre la digue perpendiculaire. 330
Autre manière d'envisager la chose. 331
L'éperon occasionne une masse d'eaux stagnantes au devant de la digue. 332
Donc il suffira que la digue ne soit qu'une simple chaussée en terre ou en gravier. 333
Observations essentielles sur la construction de l'éperon. 334
Quelles sont les parties de l'éperon qu'il faut fortifier. 335
La longueur de l'éperon du côté d'amont est en raison inverse de la pente de la rivière. 336
Quelle doit être la longueur de la partie en aval. 337
Expériences relatives à ces dimensions. 338
Les atterrissemens produits par les dépôts auront la forme d'un glacis incliné vers le courant. 339

§. II.

Des diverses espèces de digues, leur profil, leurs matériaux, leur construction, & des cas où l'on doit les employer.

Problême relatif au profil des murs d'un bassin. 340 & 341
Application aux digues sur les rivières. 342
L'expérience rend inutile la solution de ce problême. 343

Article I.

Des digues en terre ou en gravier qui doivent être terminées par un éperon.

Dimensions des digues perpendiculaires. 344
Matériaux des digues perpendiculaires. 345
Coupe des digues perpendiculaires. 347
Construction des digues perpendiculaires hors de l'eau. 348
Construction des digues perpendiculaires dans l'eau. 349

Article II.

Des Digues à péré.

Il y a trois sortes de pérés. 350
Conditions & qualités générales des digues à péré. 351
Construction des digues à péré en dalles. 352
La base ne doit pas être défendue par un pilotage. 353
Description des bermes à substituer aux pilotages. 354
Détermination des dimensions des bermes. 355
Dans les digues à péré en dalles, les bermes seront aussi en dalles. 356
Cas où la digue seroit destinée à servir de chaussée pour un chemin. 358
Cas où la digue seroit oblique au courant. 359
Cas où la digue doit être construite hors de l'eau. 360
Cas où la digue doit être construite dans l'eau. 361
Construction d'une digue parallèle le long d'une berge. 362
Simplification de cette construction. 363
Construction d'une digue oblique dans l'eau. 364
Cas où l'on emploie les digues à péré de blocaille. 365
Construction de ces digues. *ibid.*
Digues à petit péré; cas où on les emploie; leur construction. 366
Moyen simple de transformer les digues à petit péré en digues à péré en dalles. 367

Article III.

Des Digues à pierres sèches.

Les digues à pierre sèche sont en dalles ou en blocaille. 368
Construction des digues en dalles usitées sur la Durance. 369
Vices de cette construction. 370
Réforme de cette construction. 371
Simplification à y introduire. 372
Description & défauts des digues en blocaille usitées dans la ci-devant Provence. 373
Réforme de cette construction. 374
Simplification à y introduire. 375

ARTICLE IV.

Des Digues en maçonnerie.

Cherté des digues en maçonnerie. 376
Conſtruction & dimenſions des digues en maçonnerie. 377

ARTICLE V.

Des Digues en gabions.

Deſcription des gabions. 378
Conſtruction des digues en gabions. 379
Avantages & inconvéniens des digues en gabions. 380
Dans quel cas & pour quel objet on doit les employer. 381

ARTICLE VI.

Des Digues par encaiſſement.

Deſcription des encaiſſemens. 382
Leur ſolidité. *ibid.*
Moyen de généraliſer l'uſage des digues par encaiſſement. 383

ARTICLE VII.

Des Digues en bois.

Diverſes ſortes de digues en bois. 384
Digues avec des arbres, uſitées ſur la Durance. 385
Digues en paliſſades avec des arbres aux paremens. 387
Digues en clayonnages. 389
Digues en *chevrettes* ou *chevalets*. 390
Comment on pourroit conſtruire des chevalets factices. 391
Simplification dans la conſtruction des chevalets factices. 392

ARTICLE VIII.

Des Levées ou Turçies.

Cas où l'on emploie les levées. 393
Qualités requiſes dans les levées. 394
Couronnement & talus des levées. 395
Hauteur des levées. 396
Péré des levées. 397
Moyen de forcer les rivières à fortifier les levées. 398
Moyen d'empêcher le percement des levées de la part des taupes, &c. 400

ARTICLE IX.

Réſumé général des Digues précédentes.

Uſage des digues perpendiculaires. 402
Uſage des digues à péré. 403
Uſage des digues à pierre sèche. 405
Uſage des digues en maçonnerie. 406
Uſage des digues en gabions. 407
Uſage des digues par encaiſſement. 408
Uſage des digues avec arbres. 409
Uſage des digues avec paliſſades & arbres. 410
Uſage des digues en clayonnage. 411
Uſage des digues en chevrettes ou chevalets. 412
Uſage des levées ou turcies. 413

CHAPITRE II.

De la réduction des Rivières & des Torrens-Rivières.

§. I.

De la réduction des Rivières à fond de gravier & des Torrens-Rivières.

A quel problême se rapporte la réduction du lit des rivières à fond de gravier. 414
Principe fondamental pour la réduction du lit de ces rivières. 415
Manière d'opérer cette réduction. 416
Les digues des angles doivent être brisées. 417
Levées de précaution à construire dans certains cas. 418
Le courant ne deviera pas entre deux rétrécissemens consécutifs. 419
Le courant ne se divisera pas entre deux rétrécissemens consécutifs. 420
Le courant décrira des courbes aux sinuosités. 421
Le courant creusera son lit par-tout où il aura été rétréci. 422
Moyen d'accélérer les atterrissemens. 423
Cas où il y a des montagnes d'un côté du lit de la rivière. 424
Cette méthode s'applique aussi aux lits sinueux. 425
Comment on doit opérer lorsque la rivière se partage en branches. 426
Dans ces rivières, les rétrécissemens doivent commencer en amont. 427
Application de cette méthode aux torrens-rivières. 428
Utilité de cette méthode pour la construction des chemins dans les pays de montagnes. 429

§. II.

De la réduction des Rivières à fond de sable & de limon.

La réduction des rivières à fond de sable & de limon doit être renvoyée à la navigation. 430

SECTION III.

Usage des principes précédens dans la construction des Ponts sur les Rivières à fond de gravier.

Application des principes précédens à la construction des ponts sur les rivières à fond de gravier. 432
Simplification du prolongement des murs en aîle en amont. 433
Observations sur la position de la surface du radier. 434

TROISIÈME PARTIE.

De la Navigation, du Hallage & de la Flottaison des Rivières.

DÉFINITION de la navigation, du hallage & de la flottaison des rivières 435
Conséquences qui en résultent pour la navigation. 436
Pour le hallage. 437
Pour la flottaison. 438

SECTION I.

De la Navigation des Rivières.

LA forme des carênes des navires à voile, dépend de la profondeur des eaux de la rivière. 439
La navigation à la voile sur les rivières a un terme. 440
Quel est ce terme. 441
Toutes les rivières à fond de sable ou de limon, & qui ont une profondeur d'eau convenable, sont navigables à la voile. 442
Les rivières à fond de gravier le sont aussi, lorsque leur pente n'excède pas 3 pouces & demi sur 200 toises. 443
Moyens de rendre navigable une rivière qui a trop de pente. 444
La navigation à la voile exige une certaine largeur. 445
Elle exige aussi que les sinuosités ne soient pas trop dures. 446
Les dépôts aux embouchures nuisent plus à la navigation sur la Méditerranée, que sur l'Océan. 447
Les îles dans le lit des rivières en gênent aussi la navigation. 448
La trop grande largeur du lit nuit à la navigation. 449
Impossibilité de détruire les dépôts à l'embouchure des rivières de la Méditerranée. 450
La navigation à l'embouchure des rivières dans la Méditerranée, exige essentiellement un canal. 451
Canal de Marius à l'embouchure du Rhône. 452
Nouveau canal projetté pour la même embouchure. *ibid.*
Impossibilité d'anéantir les barres à l'embouchure sur l'Océan. 453
On doit barrer les branches des rivières navigables. 454
Cas où dans ce barrage il faut laisser un canal. 455
On doit réduire les rivières navigables quand leur lit est trop large. 456
Détermination de la largeur à donner aux rétrécissemens. 457
Les rétrécissemens ne seront construits que par intervalles. Manière de les opérer. 458
Différence entre la réduction d'une rivière à fond de sable ou de limon, & celle d'une rivière à fond de gravier. 459
Les ouvrages des rétrécissemens doivent être en bois. 460
Forme des ouvrages dans le cas du hallage. 461
Comment on garantira les ouvrages d'art des effets de la corrosion. 462
Comment on franchira les ponts par la navigation à la voile. 463
Avantages qui peuvent en résulter pour l'État. 464

SECTION II.

Du Hallage des Rivières.

CONSIDÉRATIONS sur le commencement du hallage & la forme des navires. 465
Il doit y avoir un chemin de hallage. 466
Cas où il faut deux chemins. 467
Équation générale pour le hallage en montant & en descendant 468
Le courant d'une rivière hallable tient le milieu entre les fluides définis & les fluides indéfinis. 469
Quelle est la force & la vîtesse d'un cheval. 470
Formules pour le hallage en montant. 471
Formules pour le hallage en descendant. 472
Raison pour laquelle les rivières des pays de montagnes ne sont pas hallables. 473
Dans quel cas on doit renoncer au hallage. 474
Le hallage est facile sur les rivières des pays de plaines. 475
Canaux latéraux à substituer aux rivières trop rapides. 476
Cas où l'on peut par barrage rendre une rivière hallable. 477
Dans quel cas on peut employer le hallage en descendant. 478
Ce qu'il faut faire lorsque la rivière n'a pas assez de profondeur d'eau. 479
Conséquence essentielle pour les rivières des pays de plaines. 480

SECTION III.

De la Flottaison des Rivières.

CAS où la rivière ne sera que flottable. 481
Flottaison des radeaux. 482
Flottaison à pièces perdues. 483
Tout corps, ou système de corps flottant, ne doit jamais toucher le fond. 484
Conséquence qui en résulte pour la flottaison. 485
Un lit trop large nuit au flottage. 486
Il en est de même : 1°. de la division des rivières. 487
2°. De la diminution du volume d'eau. 488
3°. Des gros quartiers de pierre. 489
4°. Des chûtes ou cataractes. 490
La flottaison exige : 1°. qu'on rétrécisse le lit des rivières. 491
2°. Qu'on atténue les gros quartiers de pierre. 492
3° Qu'on détruise les cataractes. 493
Avantages qui résulteront de ces opérations pour la flottaison. 494
Avantages qui en résulteront pour l'État. 495
Cas où l'on doit substituer à la rivière un canal latéral de hallage. 496

SECTION IV.

De la Navigation intérieure de la France.

PRINCIPE d'après lequel on doit opérer pour la navigation intérieure. 497
Avantages qu'a la France pour effectuer la navigation intérieure. 498
Les rivières, sous le rapport des transports, ont trois parties remarquables. 499
Des grandes vallées de la France. 503
En quoi consisteroit la navigation intérieure prise dans toute son extension. 504
Rapports sous lesquels le bien public exige qu'on envisage les projets. 505
Dans quel cas le Gouvernement doit se char-

ger de l'exécution des projets. 506
La navigation des grandes rivieres doit fixer l'attention du Gouvernement. 507
Dans quel cas l'Etat doit favoriſer le halage des rivières, comme partie de la navigation intérieure. 508
Quelles ſont les rivières dont la flottaiſon doit être regardée comme faiſant partie de la navigation intérieure. 509
En quoi conſiſte réellement la navigation intérieure. 510
Communication de Marſeille avec Bordeaux & Bayonne. 511
— La vallée du Rhin. 512
— La vallée de la Moſelle. *ibid.*
— La vallée de la Meuſe. *ibid.*
— La Suiſſe & le Mont-Blanc. *ibid.*
— Nantes. 513
— Paris & la vallée de la Seine. 514
— La vallée de la Somme. 515
— La vallée de l'Eſcaut, la Belgique & la Hollande. 516
Communication de Bordeaux avec la vallée de la Loire. 518
— La vallée de la Seine. 519
— La vallée de la Somme. 520
— La vallee de l'Eſcaut. 522
— La vallée de la Meuſe. 523
— La vallée du Haut-Rhin. 524
— La vallée de la Moſelle. 525
— Le lac de Genève. 526
Ces communications rempliſſent l'objet de la navigation intérieure. 527
Ouvrages à exécuter pour la navigation intérieure. 529
Canaux de communication entre deux vallées. 530
Réflexions ſur les canaux ſouterreins. 531
Réflexions ſur le canal ci-devant de Picardie. 532
Précautions à prendre pour effectuer le projet de la navigation intérieure. 533

SECTION V.

De la Navigation à la voile par la Seine juſqu'à Paris.

LA navigation de la Seine à la voile ſouvent propoſée. 534
La Seine a la pente convenable, mais trop peu de profondeur d'eau pour la navigation à la voile. 535
Les ſinuoſités ne feroient pas un obſtacle à la navigation à la voile. 536
On peut lever l'obſtacle oppoſé par les îles. 537
On peut auſſi lever celui oppoſé par les ponts. 538
Le défaut de profondeur d'eau eſt la ſeule difficulté. 539
Projet propoſé par les ingénieurs qui ont remonté la Seine à bord du lougre *le Saumon*. 541
Inconvéniens du projet de redreſſer le lit de la Seine. 542
Danger réſultant des petits canaux de redreſſement projettés. 543
Canal projetté par le citoyen Lemoine. 544
Probleme à la ſolution duquel ſe réduit la navigation de la Seine à la voile. 545
On doit réduire le lit de la rivière. 546
Largeur à donner aux rétréciſſemens. 547
Diſtance des rétréciſſemens. 548
Les ouvrages ne doivent pas gêner le paſſage des eaux. 549
Ils feront auſſi analogues au hallage. 550
Précautions à prendre dans les barrages. 551
Précautions à prendre pour ne pas nuire aux édifices ſur la rivière. 552
Moyen d'éviter les ponts en naviguant à la voile. 553
Précautions à prendre pour Paris & ſes environs. 554
Cas où le fond ſeroit incorroſible. 555
Le procédé preſcrit réſout le problème ſur la navigation de la Seine 556
Obſervations qui lèvent toutes les difficultés. 557
On aura ſouvent plus de profondeur d'eau que n'en exigent les vaiſſeaux marchands. 558
Ce projet eſt de nature à intéreſſer l'Etat. 559
On pourroit pouſſer la navigation à la voile au-delà de Paris. 560

Fin de la Table des Matières.

PL. 1.

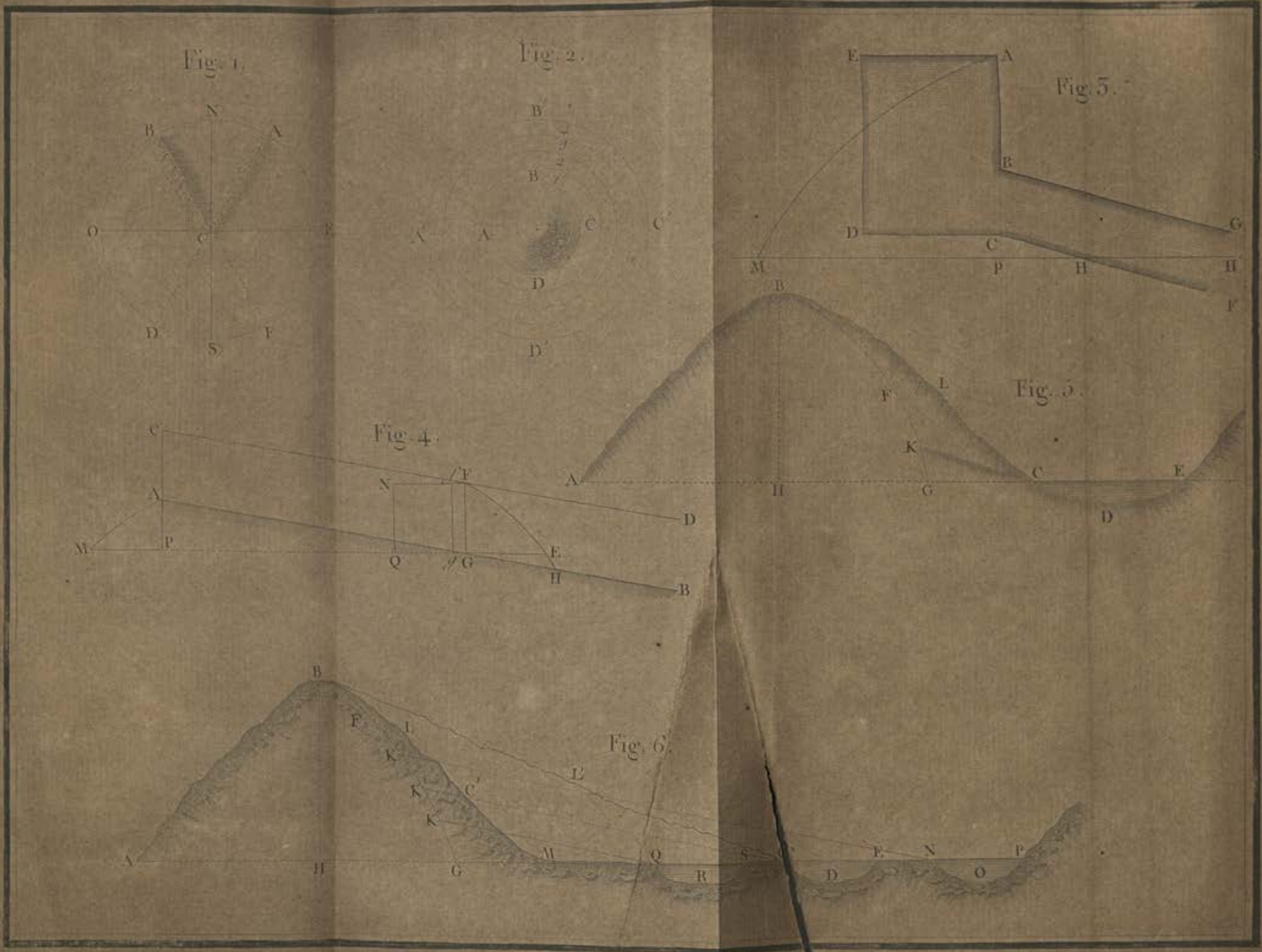

Fig. 1.
N
B A
O C E
D F
S
Fig. 2.
B
B
A A C C
D
D
Fig. 3.
E A
B
D C G
M P H H
F
Fig. 4.
C
N F
A
M P D
Q G E
H
B
Fig. 5.
B
F L
K
A H G C E
D
Fig. 6.
B
F L
K
K C
K
A H G M Q R S D E N P O

Fig. 7.

Fig. 8.

Fig. 9.

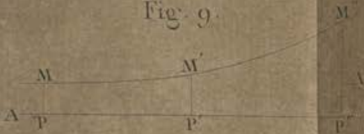

Fig. 10.

Fig. 11.

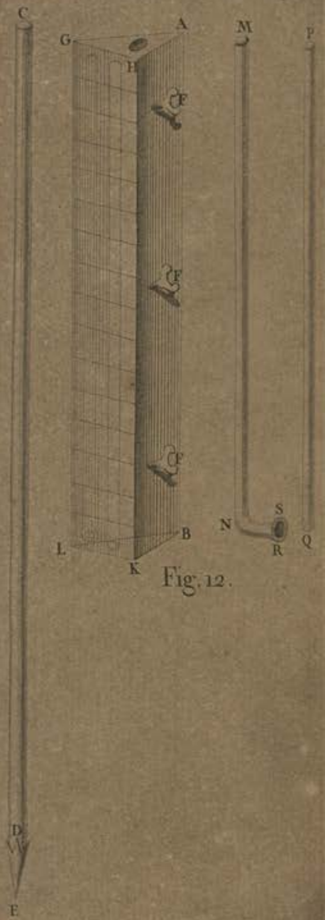

Fig. 12.

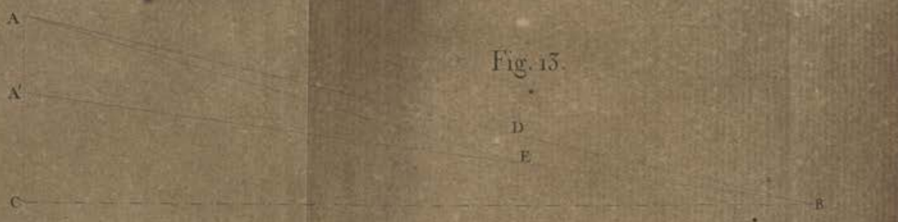

Fig. 13.

Fig. 14.

Fig. 15.

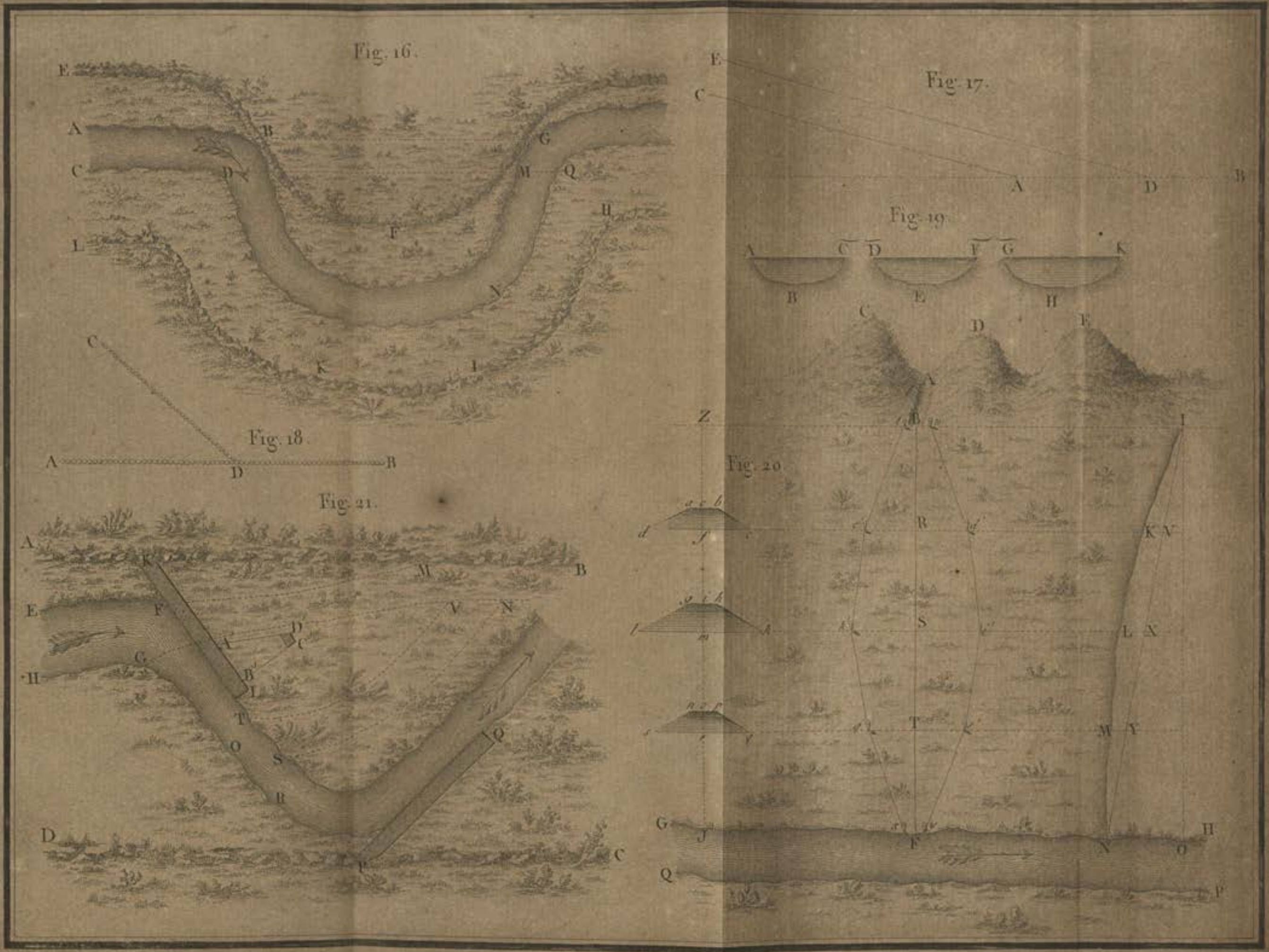
Fig. 16.
Fig. 17.
Fig. 18.
Fig. 19.
Fig. 20.
Fig. 21.

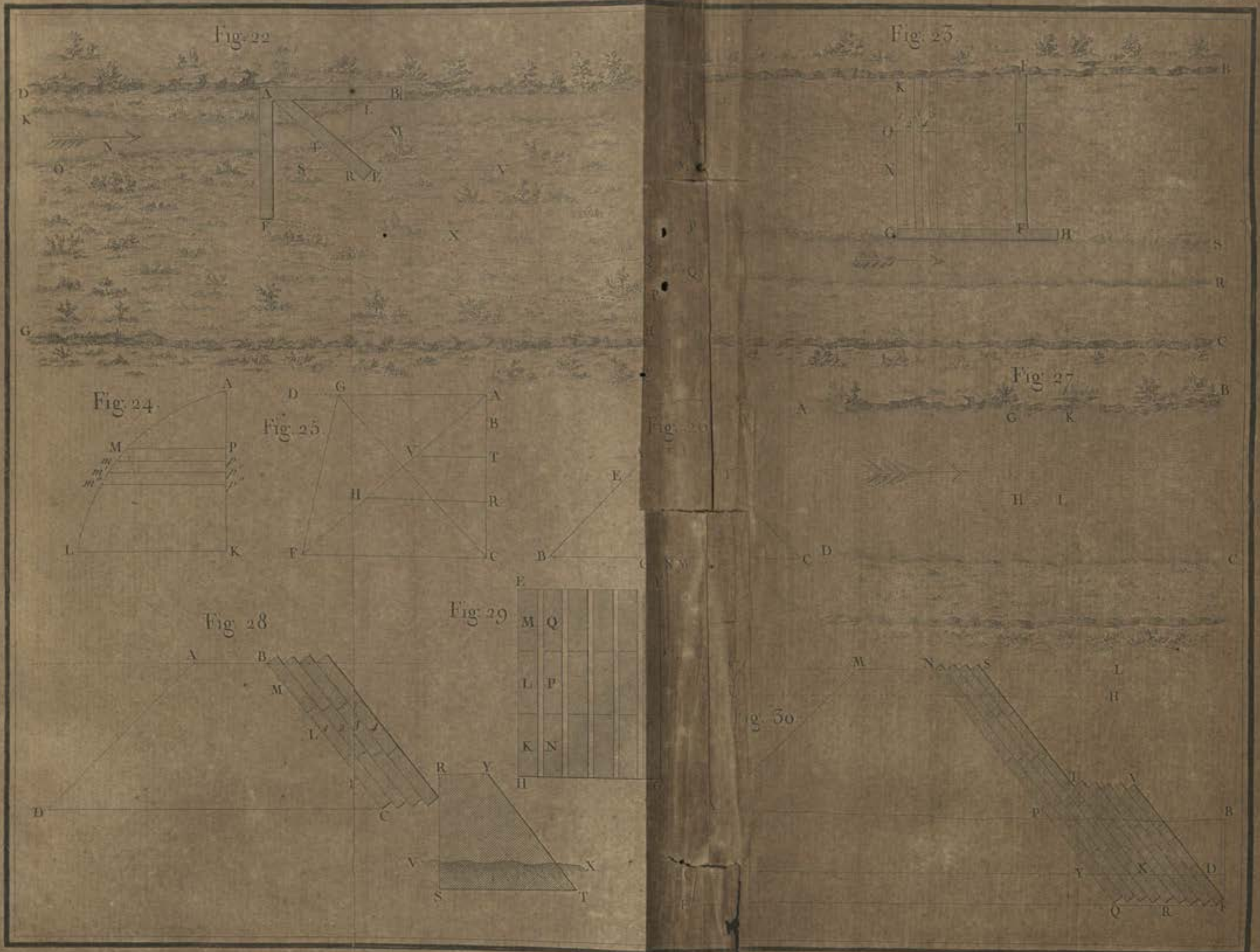
Fig. 22
Fig. 23
Fig. 24
Fig. 25
Fig. 26
Fig. 27
Fig. 28
Fig. 29
Fig. 30

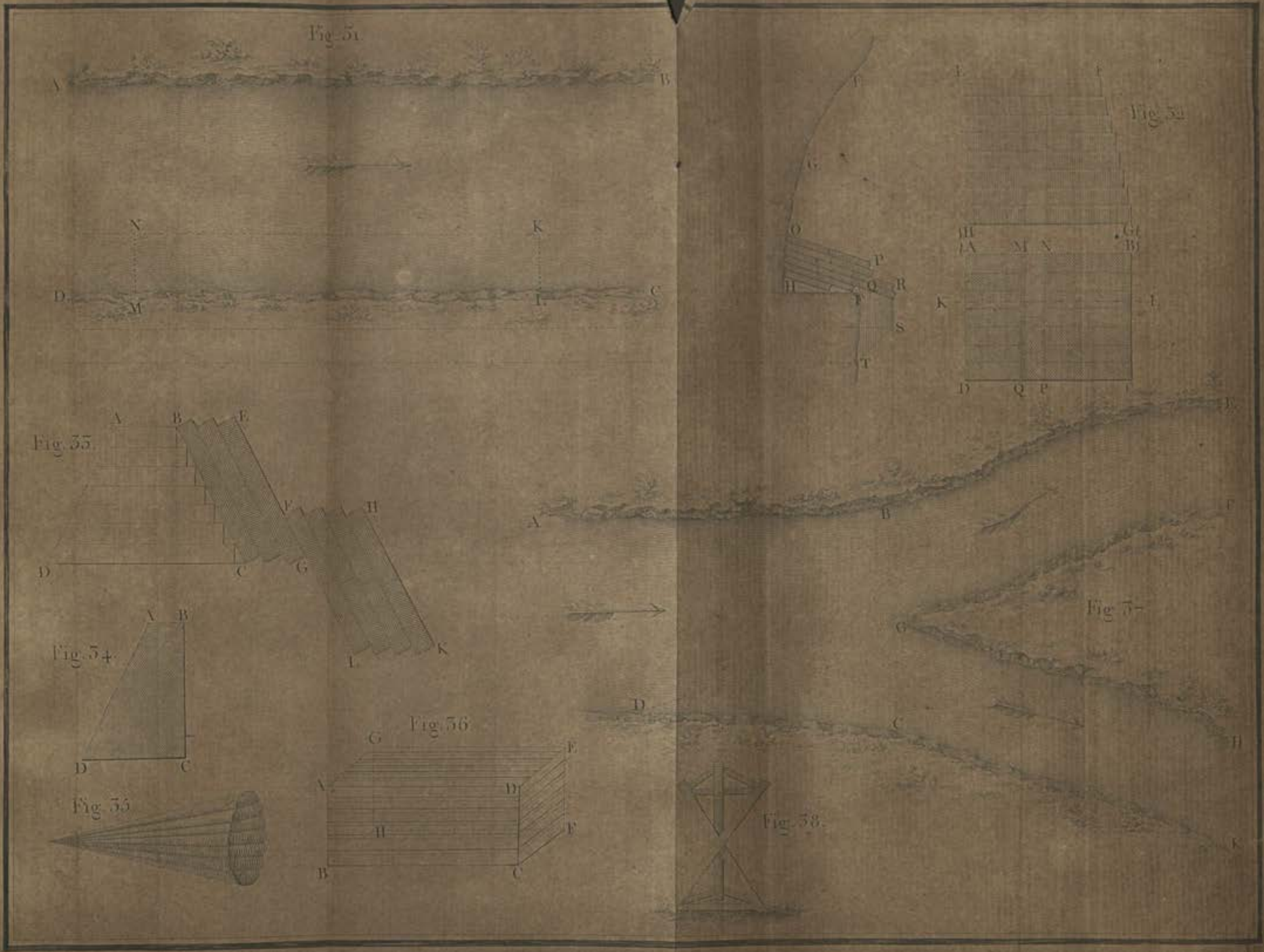
Fig. 31
Fig. 32
Fig. 33
Fig. 34
Fig. 35
Fig. 36
Fig. 37
Fig. 38

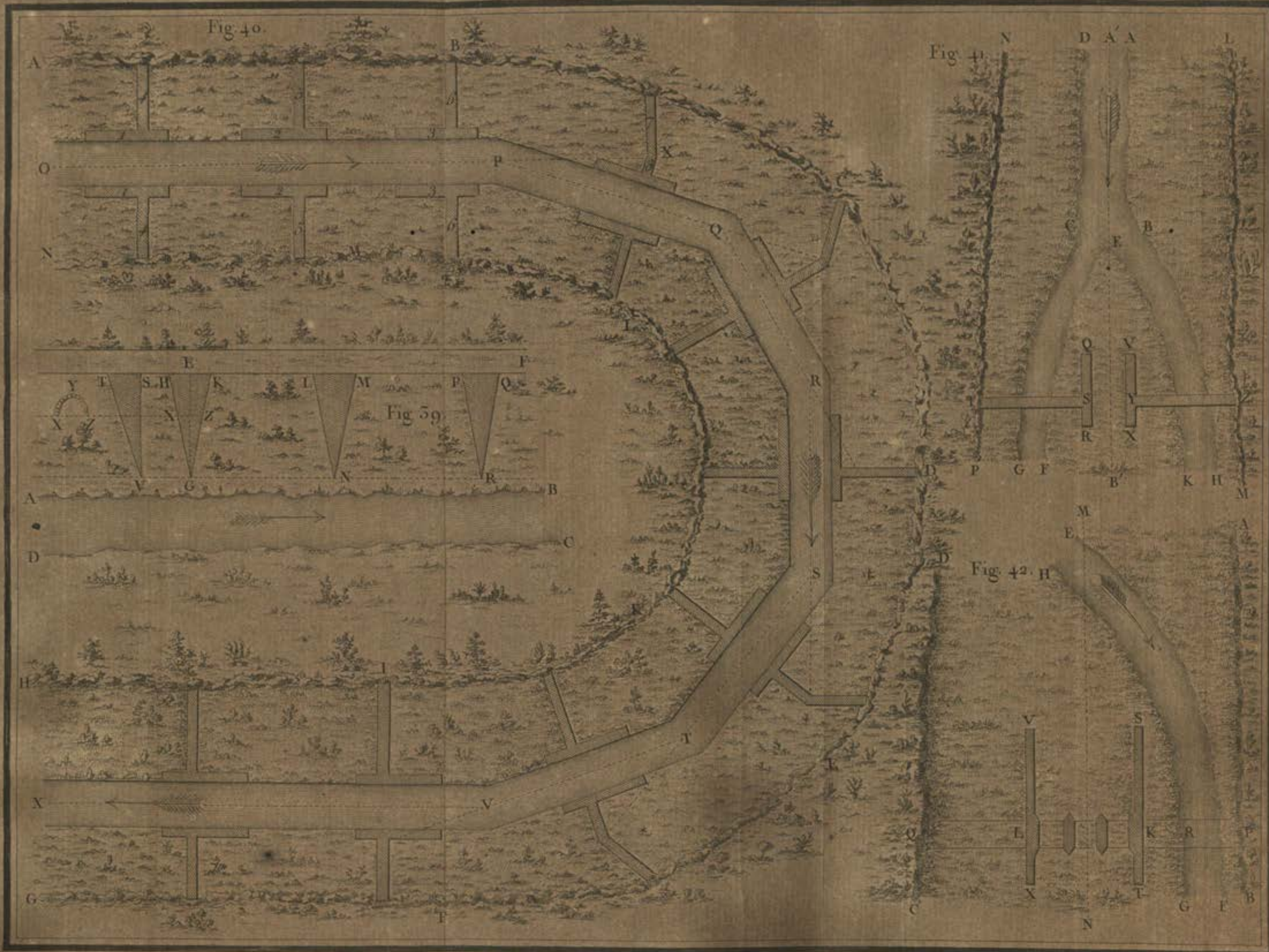
Fig. 40.
Fig. 41.
Fig. 39.
Fig. 42.

Fig. 43.

Fig. 44.

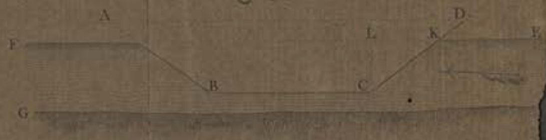

Fig. 45.

Fig. 46.

ERRATA.

PAGE ix, Discours préliminaire, ligne 4, on doit les figurer, *lisez* on doit se les figurer.

Pag. 9, lig. 11, des terres, *lisez* des torrens.

Pag. 17, lig. 25, ou à peu près donc: *lisez* ou à peu près. Donc:

Ibid, lig. 26, un volume de 800 fois plus grand, *lisez* un volume 800 fois &c.

Pag. 16, dernière ligne, de 36 pouces, lorsqu'il règne &c., *lisez* de 36 pouces. Lorsqu'il règne &c.

Pag. 25, lig. 17, sur une des masses primitives, les eaux, *lisez* sur une des masses primitives. Les eaux.

Pag. 30, lig. 26, dont le torrent soit susceptible, *lisez* dont le torrent ou la rivière &c.

Pag. 32, lig. 10 s'écrouleront, *lisez* s'écouleront.

Pag. 39, lig. 31, sur leur prolongement HH, *lisez* sur leur prolongement HH'.

Pag. 40, lig. 5, qu'elles auront perdu. *lisez* qu'elles auront perdue.

Ibid, ligne antépénultieme, transversale FfgG, *lisez* transversale F*fg*G.

Ibid, dernière ligne, 60 pieds, en faisant abstraction, *lisez* 60 pieds. En faisant abstraction.

Pag. 45, lig. 9, que dans d'autres, il faut donc, *lisez* que dans d'autres. Il faut donc.

Pag. 48, lig. 30, de la tranchée FfgG, *lisez* F*fg*G.

Pag. 49, lig. 24, qui la contrarie, la force, *lisez* qui la contrarie. La force.

Pag. 59, lig. 2, elles ont besoin d'être poussées, *lisez* ils ont besoin d'être poussés.

Pag. 64, ligne 4, leur pente, *lisez* leur perte.

Pag. 71, lig. 4 en marge, qui le fournit, *lis* qui le fourniſſent.

Pag. 76, lig. 19, que nous propoſons, *liſez* que nous nous propoſons.

Pag. 79, lig. 29, la pointe B, *liſez* le point B.

Pag. 81, lig. 13, de s'aggrandir, *liſ.* de l'aggrandir.

Pag. 84, lig. 8, des deux rivières, *liſez* de deux rivières.

Pag. 86, lig. 11, & de la réſiſtance, *liſez* & la réſiſtance.

Pag. 90, lig 15, & couvert, *liſez* & ouvert.

Pag. 100, lig. 22, ces eaux, *liſez* les eaux.

Pag. 101, lig 30, en roches, *liſez* en rocher.

Pag. 108, lig. 7, dans une grande crue, la pente, *liſez* dans une grande crue. La pente.

Pag. 110, lig. 2 en marge, ne ſera qu'un limon, *liſez* ne ſera qu'en limon.

Pag. 117, lig. 15, de A en D, le volume d'eau, *liſez* de A en D. Le volume d'eau.

Pag. 118, lig. 8, dans le terrein, *liſez* dans le terroir.

Pag. 119; lig. 3, s'y appliquent, *liſez* s'y applique.

Ibid, lig. 9, ces torrens rivières, *liſez* le torrent rivière.

Pag. 125, lig. 6, ou confluent, *liſez* au confluent.

Pag. 126, lig. 25, dans le terrein, *liſez* dans le terroir.

Pag. 137, lig. 9, k'q'q'x, *liſez* k'q',q'x.

Pag. 142, lig. 19, A'D'C'B, *liſez* A'D'C'B'.

Pag. 145, dernière ligne, *la force du mal*, liſez *la ſource du mal.*

Pag. 151, lig. 7, quelque ſoit la longueur, *liſez* quelleque ſoït la longueur.

Pag. 155, dernière ligne, $RH = y\frac{2mrpx}{q}$, *liſez* $RH = y =$ &c.

Pag. 160, lig. 17, Soit ABCD, *liſez* Soient &c.

Pag. 161, ligne 15, de la deuxième partie, *liſez* de la deuxième ſorte.

Pag. 162, lig. 31, de deux pouces, *liſ.* de deux pouces.

Page 164, lig. 17, pal-planchers, *lis.* pal-planches.

Pag. 168, lig. 3, Or nous allons, *lis.* Nous allons.

Pag. 169, lig. 9, au courant, pour obvier, *lis.* au courant. Pour obvier.

Pag. 175., lig. 22, ne doit essayer, *lis.* ne doit essuyer.

Pag. 176. lig. 7, ainsi que sa direction, *lis.* ainsi que de sa direction.

Pag. 181, lig. 8, dans le département du Midi, *lis.* dans les Départemens du Midi.

Pag. 188, lig. 29, est d'être placée, *lis.* est d'être placées.

Pag. 191, lig. 5, des plus fottes cruos, *lis.* des plus fortes crues.

Pag. 198, lig. 17, le moins d'ouvrage possibles, *lis.* le moins d'ouvrages possibles.

Pag 206, lig. 5, d'éviter les mouvemens, *lis.* d'éviter les inconvéniens.

Ibid., lig. 7, un canal de navigation particulière, *lis.* un canal de navigation particulier.

Pag. 207, lig. 12, qui séparent les étangs de *Lavaldue* & d'*Engrenieu;* & ceux de *Ciuis*, *lis.* qui séparent les étangs de *Lavalduc* & d'*Engrenieur*, de ceux de *Ciuis*.

Pag. 211, lig. 24, sur les ouvrages des rétrécissemens en chemin de hallage, *lis.* sur les ouvrages des rétrécissemens, un chemin de hallage.

Pag. 214, lig. 5, mais en la descendant, *lis.* mais encore en la descendant.

Ibid., ligne antépénultieme, Nommons cette projection *s*, *lis.* Nommons cette projection *s*.

Pag. 215, lig. 7, projection *s*, *lis.* projection *s*.

Ibid. lig. 13, dans le buiome, *lis.* dans le binome.

Pag. 216, lig. 18, Appliquons-là, *lis.* Appliquons-la.

Ibid., lig. 19, $\overline{v'+v}$. *lis.* $\overline{v'\pm v}$.

Ibid., lig. 25, *même faute.*

Digitized with financial assistance from

Government of Maharashtra

on 30 January, 2020

Page 216, lig. 31, $ma^2 . \overline{v' + v}^2$, *lis.* $ma^2 . \overline{v' + v}^2$.

Pag. 221, lig. 21, lorſqu'elles ne ſont pas flottables, *liſ.* lorſqu'elles ne ſont que flottables.

Pag. 229, lig. 5, par une foule de petites rivières dont nous venons de parler, *liſ.* par une foule de petites rivières moindres que celles dont &c.

Pag. 246, lig. 17, des ſacs des écluſes, *liſ.* des ſas des écluſes.

Pag. 255, lig. 25, LM, *liſ.* LN.

00053241